



TESIS - RE142541

**STUDI PEMANFAATAN LIMBAH CANGKANG
KERANG DARAH (*Anadara granosa*) SEBAGAI
ADSORBEN Pb^{2+} , Cu^{2+} , DAN Zn^{2+}**

FEBRI EKO WAHYUDIANTO
3313201204

DOSEN PEMBIMBING
Dr. ALI MASDUQI, ST., MT.

PROGRAM MAGISTER
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016



TESIS - RE142541

**STUDY UTILIZATION OF BLOOD COCKLE SHELL
(*Anadara granosa*) WASTE AS ADSORBENT
 Pb^{2+} , Cu^{2+} , AND Zn^{2+}**

FEBRI EKO WAHYUDIANTO
3313201204

SUPERVISOR
Dr. ALI MASDUQI, ST., MT.

MASTER PROGRAM
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND PLANNING
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Teknik (M.T.)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh :

Febri Eko Wahyudianto

NRP. 3313201204

Tanggal Ujian : 12 Januari 2016

Periode Wisuda : Maret 2016

Disetujui Oleh :

1. Dr. Ali Masduqi, ST., MT

NIP : 196801281994031003

(Pembimbing I)

2. Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, MScES

NIP : 195408241984031001

(Penguji)

3. Dr. Ir. Irwan Bagyo Santoso, MT

NIP : 196505081993031001

(Penguji)

4. Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., PhD

NIP : 197108181997031001

(Penguji)

Direktur Program Pascasarjana,



Prof. Dr. Dianhar Manfaat, MSc., PhD

NIP. 196012021987011001

STUDI PEMANFAATAN LIMBAH CANGKANG KERANG DARAH

(*Anadara granosa*) SEBAGAI ADSORBEN Pb^{2+} , Cu^{2+} , DAN Zn^{2+}

Nama Mahasiswa : Febri Eko Wahyudianto
NRP : 3313201204
Pembimbing : Dr. Ali Masduqi, ST., MT.

ABSTRAK

Logam berat berpotensi mencemari lingkungan diantaranya yaitu ion Pb^{2+} , Cu^{2+} , dan Zn^{2+} . Pengolahan yang dapat dilakukan yaitu dengan metode adsorpsi. Penggunaan cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) sebagai adsorben alternatif karena memiliki jumlah banyak dan persebaran luas di berbagai wilayah. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui karakteristik cangkang kerang darah, kapasitas adsorpsi terbesar, isotherm, dan kinetika adsorpsi.

Analisis karakteristik cangkang kerang darah menggunakan *energy-dispersive X-ray (EDX)*. Kapasitas adsorpsi dianalisis berdasarkan ukuran butiran (0,14-0,29mm dan <0,074 mm) dan aktivasi (110°C, 550°C, dan H_2SO_4 0,5M) untuk mengetahui kapasitas adsorpsi terbesar. Isotherm adsorpsi dan kinetika adsorpsi didapatkan dari percobaan *batch* dengan variasi massa adsorben (0,1-0,5 gram) dan waktu adsorpsi (0,5-6 jam).

Hasil dari karakterisasi cangkang kerang darah sebelum digunakan adsorben mengandung Ca, C, O, dan Na sedangkan setelah digunakan adsorben terdapat tambahan kandungan Pb, Cu, dan Zn. Kapasitas adsorpsi maksimum cangkang kerang darah yang digunakan untuk adsorpsi Pb^{2+} , Cu^{2+} , dan Zn^{2+} berturut-turut sebesar 125 mg/g (0,074mm; 550°C); 38,462 mg/g (<0,074mm; 550°C); 200 mg/g (0,14-0,29mm; 550°C). Isotherm dan kinetika adsorpsi berdasarkan kapasitas maksimum Pb^{2+} , Cu^{2+} , dan Zn^{2+} mengacu pada model Freundlich – Pseudo-second order.

Kata kunci: Adsorpsi, Cangkang Kerang Darah, Pb^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} .

STUDY UTILIZATION OF BLOOD COCKLE SHELL (*Anadara granosa*)

WASTE AS ADSORBENT Pb^{2+} , Cu^{2+} , AND Zn^{2+}

By : Febri Eko Wahyudianto
Student Identity Number : 3313201204
Supervisor : Dr. Ali Masduqi, ST., MT.

ABSTRACT

Environmental pollution can be caused by heavy metals ion such as Pb^{2+} , Cu^{2+} , and Zn^{2+} . One method that can be used to reduce heavy metals concentration is adsorption. Blood cockle shell (*Anadara granosa*) can be used as adsorbent alternative since it has very numerous and wide distribution in many areas. The objectives the research are to determine characteristics of blood cockle shell, adsorption capacity, isotherm, and kinetics.

Analysis of the characteristics of blood cockle shell use energy-dispersive X-ray (EDX). Analysis of adsorption capacity based on grain size variation (0,14-0,29 mm and <0,074mm size) and activation (110°C, 550°C, and H_2SO_4 0,5M) to determine the largest adsorption capacity. Adsorption isotherm and kinetic was obtain from batch experiment by varying mass of adsorbent (0,1-0,5 gram) and time of adsorption (0,5-6 hour).

The result characteristics blood cockle shell show that before used for adsorbent contain Ca, C, O, and Na after used for adsorbent Pb, Cu, and Zn are stored in blood cockle shell. The maximum adsorption capacity blood cockle shell that used for adsorbent Pb^{2+} , Cu^{2+} , and Zn^{2+} were 125 mg/g (<0,074mm; 550°C); 38,462 mg/g (<0,074mm; 550°C); 200 mg/g (0,14-0,29mm; 550°C) respectively. The isotherm and kinetic adsorption based on maximum adsorption capacity Pb^{2+} , Cu^{2+} , and Zn^{2+} following Freundlich – Pseudo-second order.

Keywords: Adsorption, Blood Cockle Shell, Pb^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} .

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “Studi Pemanfaatan Limbah Cangkang Kerang Darah (*Anadara ganosa*) Sebagai Adsorben Pb^{2+} , Cu^{2+} , dan Zn^{2+} ”. Tesis ini dapat terselesaikan dengan cukup baik. Dalam penyusunannya tesis ini tidak lepas dari bantuan, saran, masukan dan bimbingan pihak terkait. Dengan tersusunnya tesis ini tidak lupa penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Ali Masduqi ST., MT. sebagai dosen pembimbing yang telah mengarahkan dan memberikan masukan dalam penyusunan tesis ini.
2. Bapak Prof. Ir. Wahyono Hadi M.Sc., PhD dan Arseto Yekti Bagastyo, ST., MT., MPhil, PhD sebagai dosen penguji proposal tesis.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, MscES, Dr. Ir. Irwan Bagyo Santoso, MT, dan Ibu Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., PhD selaku dosen penguji tesis.
4. Teman-teman Laboratorium Pemulihan Air beserta teman-teman angkatan 2013 dan 2014 program pasca sarjana Jurusan Teknik Lingkungan.
5. Seluruh pihak terkait dengan tesis ini baik secara langsung dan tidak.

Ucapan terimakasih penulis sampaikan juga kepada kedua orang tua dan keluarga yang selalu memberikan motivasi kepada penulis untuk menyelesaikan tesis ini.

Surabaya, Januari 2016
Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	5
1.5 Ruang Lingkup	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Pencemaran Logam dalam Perairan	7
2.2 Logam Pencemar Air	9
2.2.1 Timbal (Pb)	9
2.2.2 Tembaga (Cu)	10
2.2.3 Seng (Zn)	11
2.3 Kerang Darah (<i>Anadara granosa</i>)	12
2.4 Adsorpsi	13
2.4.1 Jenis Adsorpsi, Faktor Adsorpsi, dan Aktivasi Adsorben	14
2.4.2 <i>Isotherm</i> Adsorpsi	16
2.4.3 Kinetika Adsorpsi	17
2.5 Penelitian Terdahulu	18
BAB 3 METODE PENELITIAN	21
3.1 Kerangka Perencanaan Penelitian	21
3.2 Ide Penelitian	23
3.3 Perumusan Masalah dan Tujuan	23
3.4 Studi Literatur	24
3.5 Penentuan Variabel dan Parameter Penelitian	24
3.6 Persiapan Penelitian	25
3.6.1 Persiapan Adsorben Cangkang Kerang Darah (<i>Anadara granosa</i>)	25
3.6.2 Karakterisasi Adsorben Cangkang Kerang Darah (<i>Anadara granosa</i>)	25
3.6.3 Pembuatan Larutan Pb ²⁺ 100 mg/l	26
3.6.4 Pembuatan Larutan Cu ²⁺ 100 mg/l	26
3.6.5 Pembuatan Larutan Zn ²⁺ 100 mg/l	26
3.7 Pelaksanaan Penelitian	27
3.7.1 Percobaan <i>Isotherm</i> Adsorpsi Cangkang Kerang Darah	27
3.7.2 Percobaan Kinetika Adsorpsi Cangkang Kerang Darah	27
3.8 Data Hasil Penelitian	28
3.9 Analisis Data	29
3.9.1 Analisis Karakteristik Cangkang Kerang Darah	29
3.9.2 Analisis <i>Isotherm</i> Adsorpsi	29
3.9.3 Analisis Kinetika Adsorpsi	29

3.9.4 Analisis Kemampuan Penyisihan Logam Berdasarkan Ukuran Partikel	29
3.10 Pembahasan	29
3.11 Penarikan Kesimpulan	30
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Karakteristik cangkang kerang darah (<i>Anadara granosa</i>) sebelum dan setelah digunakan sebagai adsorben	31
4.2 Isotherm dan Kapasitas Adsorpsi Pb^{2+} , Cu^{2+} , dan Zn^{2+}	37
4.2.1 Isotherm Adsorpsi Pb^{2+}	38
4.2.2 Isotherm Adsorpsi Cu^{2+}	41
4.2.3 Isotherm Adsorpsi Zn^{2+}	44
4.3 Kinetika adsorpsi Pb^{2+} , Cu^{2+} , dan Zn^{2+}	47
4.3.1 Kinetika Adsorpsi Pb^{2+}	47
4.3.2 Kinetika Adsorpsi Cu^{2+}	50
4.3.3 Kinetika Adsorpsi Zn^{2+}	52
4.4 Kemampuan adsorpsi menggunakan adsorben cangkang kerang darah (<i>Anadara granosa</i>)	54
BAB 5 KESIMPULAN	61
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran	62
LAMPIRAN	69

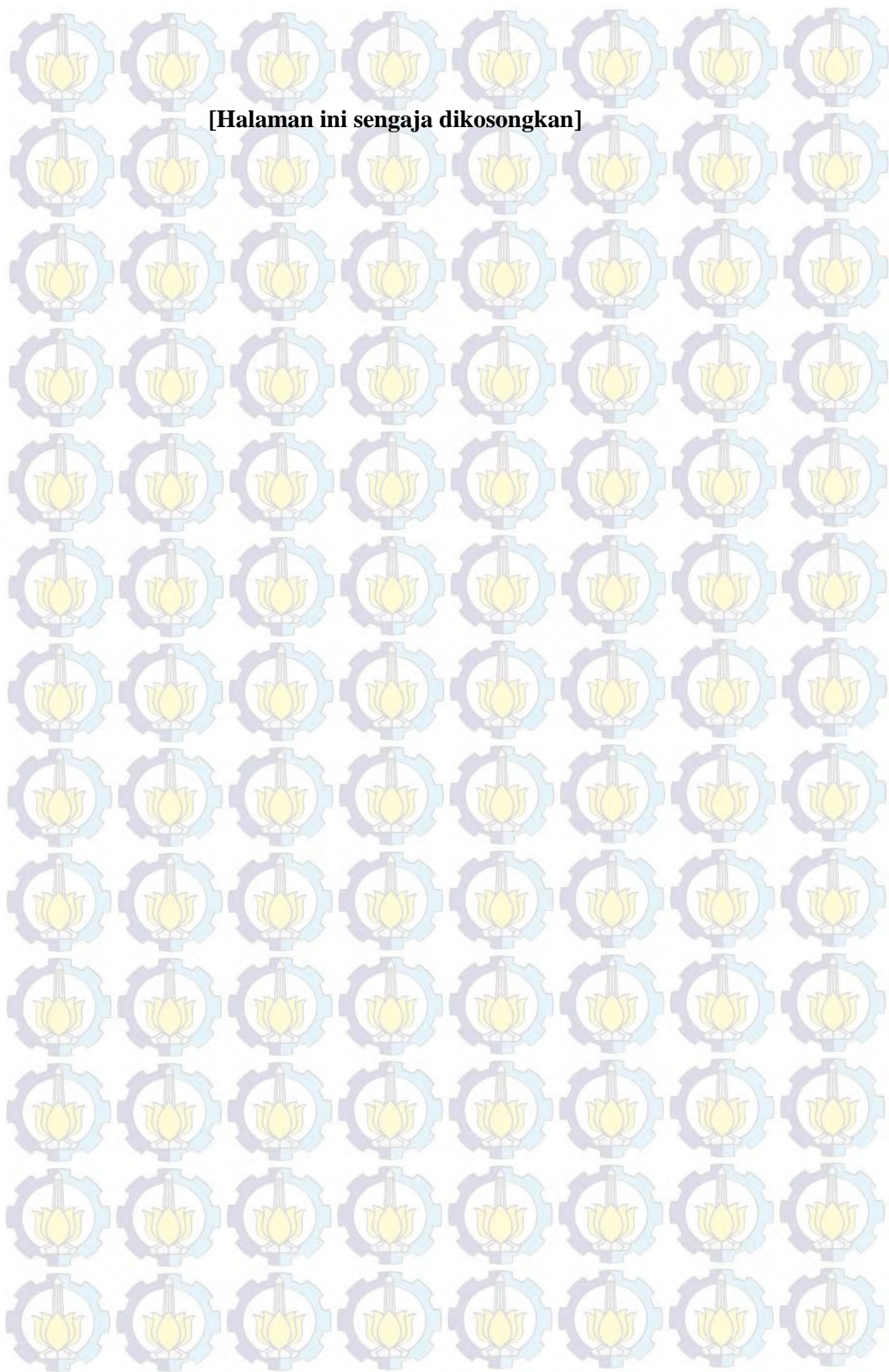
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Grafik Konsentrasi Logam Terlarut sebagai Fungsi pH	9
Gambar 2.2 Logam Timbal	10
Gambar 2.3 Logam Tembaga.....	11
Gambar 2.4 Logam Seng.....	12
Gambar 2.5 Kerang Darah (<i>Anadara granosa</i>).....	13
Gambar 2.6 Mekanisme Adsorpsi	14
Gambar 3.1 Kerangka Rencana Penelitian.....	23
Gambar 3.2 Skema Percobaan Penentuan Isotherm dan Kapasitas Adsorpsi.....	28
Gambar 4.1 (a) Cangkang Kerang Darah Granule Pemanasan 110°C; (b) Cangkang Kerang Darah Granule Pemanasan 550°C; (c) Cangkang Kerang Darah Granule Perendaman H ₂ SO ₄	32
Gambar 4.2 Karakteristik Cangkang Kerang Darah Sebelum Adsorpsi (a) Granule Pemanasan 110°C; (b) Pemanasan 550°C; (c) Granule Perendaman H ₂ SO ₄	33
Gambar 4.3 (a) Karakteristik Permukaan Cangkang Kerang Darah Setelah Adsorpsi Pb ²⁺ , (b) Karakteristik Kandungan Cangkang Kerang Darah Setelah Adsorpsi Pb ²⁺	35
Gambar 4.4 (a) Karakteristik Permukaan Cangkang Kerang Darah Setelah Adsorpsi Cu ²⁺ , (b) Karakteristik Kandungan Cangkang Kerang Darah Setelah Adsorpsi Cu ²⁺	36
Gambar 4.5 (a) Karakteristik Permukaan Cangkang Kerang Darah Setelah Adsorpsi Zn ²⁺ , (b) Karakteristik Kandungan Cangkang Kerang Darah Setelah Adsorpsi Zn ²⁺	37
Gambar 4.6 Model Langmuir Adsorpsi Pb ²⁺ dengan Adsorben Cangkang Kerang Darah Granule 110°C	39
Gambar 4.7 Model Freundlich Adsorpsi Pb ²⁺ dengan Adsorben Cangkang Kerang Darah Granule 110°C	39
Gambar 4.8 Model Langmuir Adsorpsi Cu ²⁺ dengan Adsorben Cangkang Kerang Darah Granule 110°C	42
Gambar 4.9 Model Freundlich Adsorpsi Cu ²⁺ dengan Adsorben Cangkang Kerang Darah Granule 110°C	42
Gambar 4.10 Model Langmuir Adsorpsi Zn ²⁺ dengan Adsorben Cangkang Kerang Darah Granule 110°C	45
Gambar 4.11 Model Freundlich Adsorpsi Zn ²⁺ dengan Adsorben Cangkang Kerang Darah Granule 110°C	45
Gambar 4.12 Kinetika Adsorpsi Pb ²⁺ Pseudo-First Orde Model dengan Adsorben Cangkang Kerang Darah Granule 110°C.....	48
Gambar 4.13 Kinetika Adsorpsi Pb ²⁺ Pseudo-Second Orde Model dengan Adsorben Cangkang Kerang Darah Granule 110°C.....	48
Gambar 4.14 Kinetika Adsorpsi Cu ²⁺ Pseudo-First Orde Model dengan Adsorben Cangkang Kerang Darah Granule 110°C.....	50
Gambar 4.15 Kinetika Adsorpsi Cu ²⁺ Pseudo-Second Orde Model dengan Adsorben Cangkang Kerang Darah Granule 110°C.....	51

Gambar 4.16 Kinetika Adsorpsi Zn^{2+} Pseudo-First Orde Model dengan Adsorben Cangkang Kerang Darah Granule 110°C.....	53
Gambar 4.17 Kinetika Adsorpsi Zn^{2+} Pseudo-Second Orde Model dengan Adsorben Cangkang Kerang Darah Granule 110°C.....	53
Gambar 4.18 Kapasitas Adsorpsi Cangkang Kerang Darah berdasar Jenis Aktivasi	56
Gambar 4.19 Perbandingan Kapasitas Adsorpsi Cangkang Kerang Darah.....	58

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kadar Logam Pada Perairan	8
Tabel 2.2 Kadar Logam pada Biota Perairan	8
Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu Topik Adsorpsi	19
Tabel 4.1 Karakteristik Adsorben Cangkang Kerang Darah (<i>Anadara granosa</i>).....	34
Tabel 4.2 Hasil Analisis Model Isotherm Adsorpsi Pb^{2+} dengan Cangkang Kerang Darah.....	40
Tabel 4.3 Hasil Analisis Model Isotherm Adsorpsi Cu^{2+} dengan Cangkang Kerang Darah.....	43
Tabel 4.4 Hasil Analisis Model Isotherm Adsorpsi Zn^{2+} dengan Cangkang Kerang Darah.....	46
Tabel 4.5 Hasil Analisis Model Kinetika Adsorpsi Pb^{2+} dengan Cangkang Kerang Darah.....	49
Tabel 4.6 Hasil Analisis Model Kinetika Adsorpsi Cu^{2+} dengan Cangkang Kerang Darah.....	51
Tabel 4.7 Hasil Analisis Model Kinetika Adsorpsi Zn^{2+} dengan Cangkang Kerang Darah.....	54
Tabel 4.8 Kapasitas Adsorpsi Cangkang Kerang Darah Berdasarkan Kapasitas Adsorpsi Maksimum Langmuir	55



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pencemaran logam berat dalam perairan merupakan isu lingkungan yang hingga saat ini masih terjadi, baik di Indonesia maupun negara lain. Pencemaran logam berat yang terjadi dapat berasal dari kegiatan industri, pertanian, hingga transportasi. Potensi pencemaran logam berat yang terbesar yaitu dari kegiatan industri yang pada proses utamanya menggunakan bahan yang menanggung logam berat. Logam berat yang berpotensi mencemari lingkungan diantaranya yaitu timbal (Pb), tembaga (Cu), dan seng (Zn). Logam berat tersebut merupakan logam berat yang banyak digunakan di berbagai industri diantaranya yaitu industri cat, tinta, petrokimia hulu, korek api, soda kaustik, pelapisan logam, industri galvanis, pembersihan karat, pengolahan bijih besi, emas, tembaga, dan industri baterai (Palar, 2012; Pemerintah RI, 2013).

Pencemaran oleh logam berat Pb, Cu, dan Zn sangat memungkinkan terjadi jika melihat penggunaannya yang cukup luas. Pencemaran yang terjadi dapat diketahui tidak hanya berdasarkan kandungan air limbah tetapi dapat juga berdasarkan pemantauan terhadap kualitas air, sedimen maupun biota perairan. Pemantauan kadar logam berat pada Teluk Jakarta menunjukkan bahwa sedimen mengandung 0,25-69,22 mg/l logam timbal (Pb) (Rochyatun dan Rozak, 2007) sedangkan penelitian Amien dan Iromo (2010) menunjukkan kandungan Pb yang cukup tinggi pada perairan Tarakan, Kalimantan Timur mencapai 0,2787 mg/l dimana baku mutu maksimal sebesar 0,05 mg/l (Pemerintah RI, 2004). Kandungan Cu pada sungai Sayung Kabupaten demak pada tahun 2010 berkisar antara 0,01-0,05 mg/l dimana baku mutu maksimal sebesar 0,02 mg/l (Pemerintah RI, 2001). Kandungan Zn yang cukup tinggi juga terjadi pada aliran Kali Garang Semarang yang mencapai 0,611-1,420 mg/l (Rohman dkk., 2010) dimana baku mutu air sungai yang dapat dimanfaatkan sebagai kegiatan perikanan maksimal kandungan Zn sebesar 0,05 mg/l (Pemerintah RI, 2001). Kondisi logam yang ditemukan melebihi baku mutu yang dipersyaratkan dapat mengakibatkan dampak bagi kesehatan manusia. Dampak bagi manusia yang diakibatkan oleh

pencemaran logam Pb, Cu, dan Zn dapat berupa gangguan otak, kerusakan ginjal, kerusakan tulang, kerusakan hati, dan keracunan (Efendi, 2003; Palar, 2012). Besarnya dampak yang disebabkan oleh pencemaran tersebut harus diminimalisir melalui upaya-upaya penurunan konsentrasi logam Pb, Cu, dan Zn di dalam air limbah yang dibuang ke badan air.

Upaya-upaya untuk mengurangi pencemaran logam telah banyak dikembangkan antara lain metode yang dapat digunakan untuk mengurangi logam dalam air yaitu dengan cara adsorpsi, presipitasi kimia, ion *exchange*, ultra filtrasi, *reverse osmosis*, elektrodialisis, destilasi (Davis, 2010; Tchobanoglous et al., 2003; Reynold and Richard, 1996). Adsorpsi merupakan salah satu metode yang banyak digunakan dalam penyisihan logam dari air. Penggunaan adsorpsi memerlukan biaya yang relatif murah (Reynold and Richard, 1996) dan dapat digunakan menyisihkan banyak jenis logam seperti Pb, Cr, Cu, Ni, Zn dan Cd (Igberase et al., 2014; Chong et al., 2013; Gopalakrishnan dan Jeyadoss, 2011; Bhatnagar dan Micocha, 2006; Donat, et al., 2005). Penyisihan logam dengan menggunakan adsorben memiliki kemampuan yang spesifik bergantung pada jenis adsorben. Saat ini, penelitian terkait adsorben alternatif telah banyak dilakukan menggunakan bahan yang ramah lingkungan seperti memanfaatkan sisa kegiatan pertanian dan hasil laut (Kyzas dan Kostoglou, 2014; Lesmana et al., 2009) maupun limbah kegiatan industri (Bhatnagar dan Minocha, 2006). Bahan-bahan ramah lingkungan yang berupa limbah maupun sumberdaya yang dapat diperbarui tersebut diharapkan dapat menjadi salah satu alternatif pilihan adsorben untuk logam berat Pb, Cu, dan Zn.

Salah satu jenis bahan yang berpotensi sebagai alternatif adsorben di Indonesia yaitu limbah hasil perikanan dimana sebagian besar negara Indonesia terdiri dari laut yang mempunyai potensi laut yang besar. Salah satu komoditas laut yang mempunyai produksi cukup besar yaitu kerang darah (*Anadara granosa*) dengan produksi pada tahun 2010 mencapai 34.482 Ton dengan pertumbuhan produksi rata-rata 5%-10% berdasarkan data Kementrian Kelautan dan Perikanan (Pemerintah RI, 2011). Potensi produksi kerang darah tersebut juga menimbulkan potensi limbah yang besar pula berupa limbah padat yang berasal dari cangkang kerang. Limbah cangkang kerang ini pada umumnya dimanfaatkan

sebagai bahan untuk membuat suatu kerajinan untuk penghias ruangan, selain itu pemanfaatan lain dari cangkang kerang yaitu untuk pakan ternak (Agustini dkk, 2011). Potensi yang besar dari limbah cangkang kerang darah serta pemanfaatan yang hanya terbatas pada pembuatan kerajinan dan pakan ternak, memunculkan konsep pemanfaatan lain yang dapat menambah nilai manfaat seperti menggunakan cangkang kerang darah sebagai alternatif adsorben untuk logam.

Pemanfaatan cangkang kerang darah menjadi adsorben didukung oleh kemampuan mengakumulasi logam yang ada pada kerang sesuai dengan karakteristik kerang sebagai biota air laut yang bersifat *filter feeder* (Wulandari, 2009) dimana logam yang ada pada sedimen dan air akan masuk dalam daging kerang dan terakumulasi di jaringan daging kerang. Tidak hanya dalam daging, kerang juga mengakumulasi logam pada cangkang, sebagai contoh kandungan logam Pb, Cu, dan Zn pada cangkang kerang di Tanjung Balai Asahan berturut-turut sebesar 9,28 µg/g; 14,45 µg/g; dan 492,10 µg/g (Os, 2014). Hal tersebut menunjukkan bahwa cangkang kerang darah dapat mengakumulasi logam sehingga memungkinkan jika cangkang kerang darah digunakan sebagai adsorben. Logam Pb, Cu, dan Zn yang terakumulasi dalam cangkang tersebut merupakan logam yang sering ada dalam perairan dan telah diatur baku mutu air laut Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No 51 Tahun 2004. Peraturan tersebut mengatur kandungan Pb, Cu, dan Zn baik di perairan sebagai fungsi pelabuhan, sebagai fungsi wisata dan didalam biota air laut. Sumber-sumber logam tersebut dapat berasal dari industri bahan kimia, industri cat, ataupun galangan kapal yang ada disekitar perairan.

Penelitian penggunaan biomassa jenis kerang tiram dan siput sebagai adsorben logam berat Pb telah dilakukan oleh Odoemelum dan Eddy (2009) dengan hasil menunjukkan bahwa biomassa tiram dan siput dapat menyisihkan logam berat Pb mencapai 90%. Penelitian yang dilakukan Wu, et al., (2014) juga menunjukkan bahwa biomassa jenis tiram dapat digunakan untuk menyisihkan Cu hingga 99,9% dengan konsentrasi awal 10 mg/l. Penelitian Odoemelum dan Eddy (2009) memperlihatkan adanya pengaruh waktu kontak dan konsentrasi logam berat Pb sedangkan penelitian Wu et al. (2014) juga menunjukkan pengaruh konsentrasi logam Cu dan pH terhadap kemampuan adsorpsi dari cangkang tiram. Penelitian

tersebut belum memperlihatkan bagaimana pengaruh ukuran adsorben yang berpengaruh pada luas area adsorben, jenis adsorbat, dosis adsorben, perlakuan terhadap adsorben yang merupakan faktor yang berpengaruh pada kemampuan adsorpsi (Grassi et al., 2012).

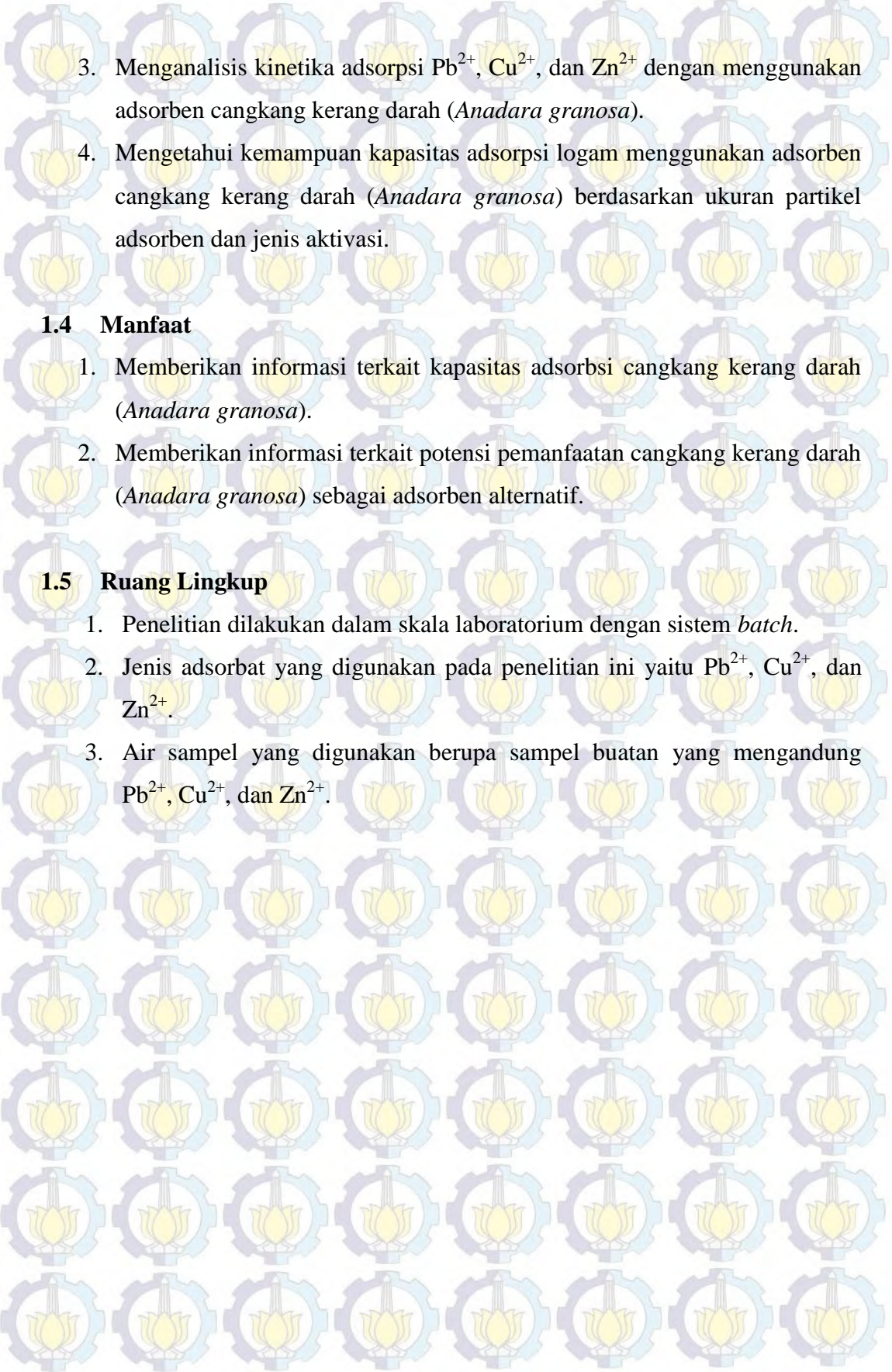
Sehingga memanfaatkan potensi besar dari limbah cangkang kerang darah dan berdasarkan sifat kerang darah yang dapat mengakumulasi logam berat pada cangkang dan diperkuat oleh penelitian Odoemelan dan Eddy (2009) dan Wu et al. (2014) yang menunjukkan cangkang tiram dan siput dapat digunakan sebagai adsorben logam berat maka perlu dilakukan penelitian terkait pemanfaatan cangkang kerang darah sebagai adsorben logam berat dengan mempertimbangkan, ukuran partikel adsorben, jenis adsorbat, dan aktivasi adsorben yang nantinya dapat digunakan untuk mengetahui kapasitas adsorpsi dari cangkang kerang darah.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) sebelum dan setelah digunakan sebagai adsorben logam?
2. Bagaimana isotherm adsorpsi Pb^{2+} , Cu^{2+} , dan Zn^{2+} dengan menggunakan adsorben cangkang kerang darah (*Anadara granosa*)?
3. Bagaimana kinetika adsorpsi Pb^{2+} , Cu^{2+} , dan Zn^{2+} dengan menggunakan adsorben cangkang kerang darah (*Anadara granosa*)?
4. Bagaimana kemampuan kapasitas adsorpsi menggunakan adsorben cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) berdasarkan ukuran partikel adsorben dan jenis aktivasi?

1.3 Tujuan

1. Mendapatkan karakteristik cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) sebelum dan setelah digunakan sebagai adsorben logam.
2. Mendapatkan model isotherm dan kapasitas adsorpsi Pb^{2+} , Cu^{2+} , dan Zn^{2+} dengan menggunakan adsorben cangkang kerang darah (*Anadara granosa*).

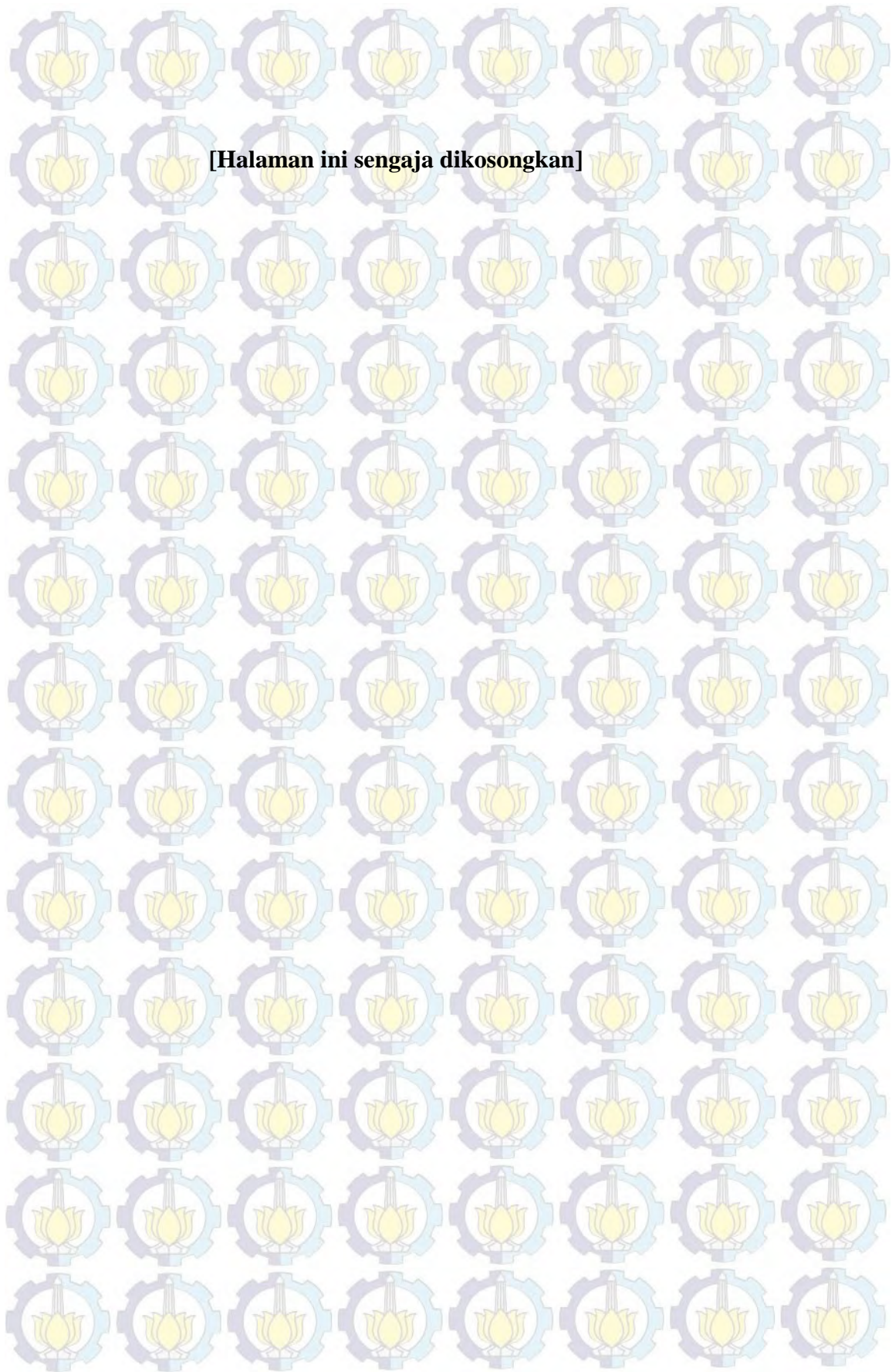
- 
3. Menganalisis kinetika adsorpsi Pb^{2+} , Cu^{2+} , dan Zn^{2+} dengan menggunakan adsorben cangkang kerang darah (*Anadara granosa*).
 4. Mengetahui kemampuan kapasitas adsorpsi logam menggunakan adsorben cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) berdasarkan ukuran partikel adsorben dan jenis aktivasi.

1.4 Manfaat

1. Memberikan informasi terkait kapasitas adsorpsi cangkang kerang darah (*Anadara granosa*).
2. Memberikan informasi terkait potensi pemanfaatan cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) sebagai adsorben alternatif.

1.5 Ruang Lingkup

1. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium dengan sistem *batch*.
2. Jenis adsorbat yang digunakan pada penelitian ini yaitu Pb^{2+} , Cu^{2+} , dan Zn^{2+} .
3. Air sampel yang digunakan berupa sampel buatan yang mengandung Pb^{2+} , Cu^{2+} , dan Zn^{2+} .



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pencemaran Logam dalam Perairan

Pencemaran logam dalam perairan telah banyak terjadi di dunia seperti pencemaran merkuri (Hg), timbal (Pb), tembaga (Cu), cadmium (Cd) dan seng (Zn) (Os, 2014; Azhar dkk., 2012; Wulandari, 2009; Rochyatun dan Rozak, 2007). Pencemaran perairan oleh logam yang terlarut dapat diketahui dengan cara melakukan monitoring kualitas air dan membandingkan dengan baku mutu air. Pemerintah Indonesia telah menentukan baku mutu air dalam Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air yang mengatur baku mutu kualitas air permukaan seperti sungai yang dibagi menjadi empat kelas air yaitu Kelas I, II, III dan IV (Pemerintah RI, 2001). Tidak hanya air permukaan, air laut juga mempunyai bakumutu yang telah diatur dalam Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No 51 Tahun 2004 dimana baku mutu air laut dibagi menjadi baku mutu air laut untuk pelabuhan, wisata bahari, dan biota laut (Pemerintah RI, 2004).

Beberapa contoh kondisi air yang tercemar dilihat dari ketidaksesuaian dengan baku mutu berdasarkan beberapa penelitian terkait monitoring kualitas air seperti pada Tabel 2.1 sedangkan kandungan logam pada biota air pada Tabel 2.2. Berdasarkan data tersebut diketahui bahwa terdapat kasus dimana kandungan logam yang terkandung di dalam air melebihi baku mutu maksimal yang diperbolehkan berdasarkan peraturan tersebut. Hal ini menandakan adanya masukan logam yang berlebih kedalam air. Sedangkan berdasarkan Tabel 2.2 menunjukkan logam yang terkandung didalam daging biota perairan seperti kerang juga terdapat logam yang menandakan biota tersebut dapat mengakumulasi logam yang ada di air. Akumulasi logam juga terdapat pada cangkang biota perairan yaitu kerang dimana kandungan logam dalam cangkang kerang menunjukkan jumlah yang sangat tinggi dibandingkan dengan pada daging kerang.

Tabel 2.1 Kadar Logam Pada Perairan

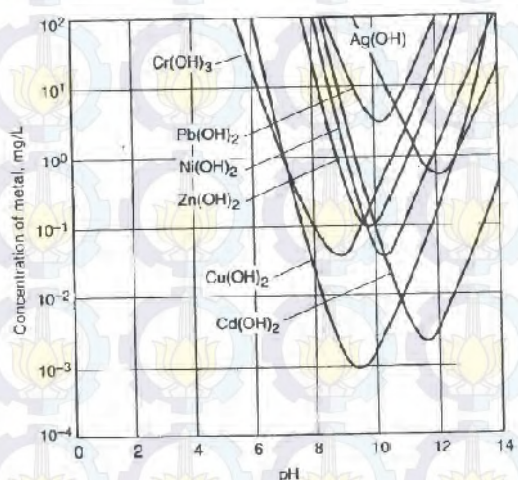
No.	Lokasi	Kadar Logam (mg/l)	Baku Mutu Air (mg/l)		Referensi
			Permukaan	Laut	
1.	Air Perairan Pantai Wedung, Demak	Cu = 0,07-0,14 Cd = 0,01		Cu = 0,05 Cd = 0,01	Azhar dkk. (2012)
2.	Air Perairan Laut Prigi, Trenggalek	Pb = 0,06-0,211		Pb = 0,05	Wulandari dkk. (2012)
3.	Air Perairan Laut Tarakan	Pb = 0,0-0,2787		Pb = 0,05	Amien dan Iromo (2010)
4.	Air Sungai Kali Garang, Semarang	Zn = 0,611-1,420	Zn = 0,05 (kelas III)		Rohman dkk. (2010)

Tabel 2.2 Kadar Logam pada Biota Perairan

No.	Lokasi/ Jenis Biota	Kadar Logam (µg/gram)	Referensi
1.	Daging dan Cangkang Kerang Hijau (<i>Perna viridis</i>), Perairan Tanjung Balai Asahan Indonesia	Daging: Pb = 0,81-1,17 Cu = 8,24-8,72 Zn = 240,09-295,93 Cangkang: Pb = 8,25-10,10 Cu = 11,97-17,90 Zn = 497,63-680,85	Os (2014)
2.	Jaringan Kerang Darah (<i>Anadara granosa</i>), Selangor, Johor, Kedah, dan Penang Malaysia	Pb = 0,25-2,33 Cu = 0,07-0,081 Zn = 4331,67-6464,00	Nasuha (2013)
3.	Daging Kerang Darah (<i>Anadara granosa</i>), Kepulauan Lengkawi Malaysia	Pb = 0,04-1,73 Cu = 6,72-8,56 Zn = 62,16-110,75	Zahir et al. (2011)

2.2 Logam Pencemar Air

Logam pencemar dalam air keberadaannya dapat berasal dari sumber-sumber alamiah maupun karena aktivitas manusia. Sumber pencemar alamiah dapat terjadi dari pengikisan batuan oleh air yang akhirnya masuk kedalam badan air sedangkan sumber pencemar dari aktivitas manusia dapat berasal dari sisa kegiatan industri atau kegiatan manusia lainnya. Logam pencemar dalam air umumnya meupakan dalam bentuk ion. Kelarutan ion-ion logam didalam air tersebut dapat dipengaruhi faktor-faktor diantaranya yaitu: pH air, jenis dan konsentrasi logam, dan keadaan komponen mineral lainnya (Palar, 2012). Pengaruh pH terhadap kelarutan logam dalam air berbeda-beda sesuai dengan jenis ion logam seperti tersaji pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Grafik Konsentrasi Logam Terlarut sebagai Fungsi pH
Sumber: Tchobanoglous et al. (2003)

2.2.1 Timbal (Pb)

Timbal atau disebut juga dengan timah hitam mempunyai bahasa ilmiah plumbum (Pb). Timbal dalam tabel periodik termasuk dalam golongan IV-A dan memiliki nomor atom 82 dengan berat atom 207,19 (APHA, 2005). Timbal merupakan logam berwarna abu-abu kebiruan seperti Gambar 2.2 dengan berat jenis tinggi sebesar 11,48 g/ml pada suhu kamar (Svehla, 1979). Penyebaran timbal di bumi sangat sedikit yaitu sebesar 0,0002% dari seluruh kerak bumi (Palar, 2012) dengan konsentrasi sebesar 13 ppm. Timbal pada tanah mempunyai

rentang 2,6-25 ppm dan pada aliran air sebesar 0,003 mg/l sedangkan air tanah sebesar <0,1 mg/l (APHA, 2005).



Gambar 2.2 Logam Timbal

Sumber: Anonim (-a)

Timbal umumnya digunakan dalam berbagai industri diantaranya yaitu pembuatan baterai, amunisi, solder, pipa, pigmen cat, insektisida, dan kabel (Palar, 2012; APHA, 2005). Penggunaan timbal yang cukup banyak di berbagai bidang dapat menimbulkan adanya pencemaran lingkungan khususnya air seperti penelitian Wulandari dkk. (2012) menunjukkan kandungan timbal yang melebihi baku mutu di perairan laut Trenggalek Jawa Timur. Timbal merupakan logam yang tidak esensial bagi makhluk hidup baik manusia, hewan, maupun tumbuhan (APHA, 2005; Effendi, 2003). Timbal yang tidak esensial bagi makhluk hidup dapat mengakibatkan dampak negatif ketika timbal masuk di dalam tubuh makhluk hidup. Kadar timbal 0,1-0,8 mg/l dapat mengakibatkan terhambatnya pertumbuhan mikroalga, sedangkan pada manusia dapat mengakibatkan gangguan otak, ginjal, dan kerusakan tulang (Palar 2012; Efendi, 2003).

2.2.2 Tembaga (Cu)

Tembaga atau cuprum (Cu) merupakan logam yang dalam tabel periodik dalam golongan IB dengan nomor atom 29 dengan berat atom 63,54 (APHA, 2005). Tembaga mempunyai warna merah hingga merah muda (Svehla, 1979) seperti pada Gambar 2.3. Tembaga dapat ditemukan dalam bentuk logam bebas tetapi lebih banyak ditemukan dalam bentuk senyawa. Kandungan tembaga pada

kerak bumi mencapai 68 ppm sedangkan pada tanah sebesar 9-33 ppm. Pada aliran air kandungan tembaga umumnya 0,004-0,012 mg/l (APHA, 2005).



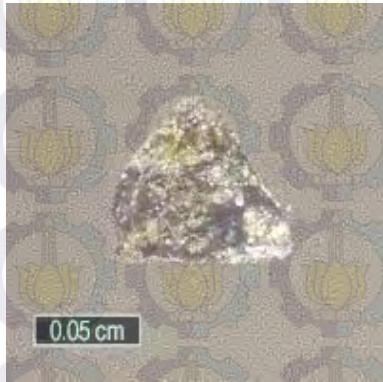
Gambar 2.3 Logam Tembaga

Sumber: Anonim (-b)

Tembaga umumnya digunakan dalam berbagai peruntukan diantaranya yaitu pembuatan kabel, atap rumah, pigmen cat, peralatan masak, pipa, industri kimia, insektisida (Palar, 2012; APHA, 2005). Tembaga juga diperlukan bagi makhluk hidup karena itu tembaga disebut sebagai logam esensial. Kebutuhan tembaga bagi manusia dewasa berkisar antara 0,03 mg tiap kilogram berat tubuh sedangkan kerang mempunyai toleransi hingga 2000 ppm tembaga yang terkandung didalamnya (Palar, 2012). Disisi lain pencemaran tembaga juga terjadi dan dapat mengakibatkan dampak yang negatif bagi makhluk hidup karena jumlahnya yang banyak. Beberapa hal yang diakibatkan kandungan tembaga yang terlalu banyak diantaranya yaitu keracunan, kerusakan hati, dan kerusakan pada otak (Palar 2012; Effendi, 2003).

2.2.3 Seng (Zn)

Seng atau zink merupakan logam yang termasuk dalam golongan II-B dalam tabel periodik dengan nomor atom 30 dan berat atom 65,38 (APHA, 2005). Seng merupakan logam berwarna putih kebiruan seperti pada Gambar 2.4 (Svehla, 1979). Seng merupakan logam yang mempunyai jumlah banyak di alam. Kandungan di kerak bumi mencapai 76 ppm sedangkan di dalam tanah berkisar antara 26-68 ppm dan di dalam aliran air sebesar 0,020 mg/l (APHA, 2005).



Gambar 2.4 Logam Seng

Sumber: Anonim (-c)

Penggunaan seng umumnya yaitu untuk bahan baku pembuatan logam campuran, baterai, fungisida, dan pigmen cat (APHA, 2005). Seng juga diperlukan bagi makhluk hidup karena itu seng disebut sebagai logam esensial yang berfungsi untuk membantu kinerja enzim (Effendi, 2003). Tetapi disisi lain, jumlah seng yang terlalu banyak dalam air juga dapat menyebabkan timbulnya rasa dalam air sedangkan toksisitas seng sangat bervariasi antara $< 1 \text{ mg/l}$ hingga $>100 \text{ mg/l}$ (Effendi, 2003).

2.3 Kerang Darah (Anadara granosa)

Kerang darah atau sering disebut *blood cokles* dengan nama spesies *Anadara granosa* seperti Gambar 2.5 dengan taksonomi sebagai berikut: (Anonim, -d)

Kingdom	: Animalia
Filum	: Moluska
Kelas	: Bivalvia
Ordo	: Arcoida
Famili	: Arcidae
Genus	: Anadara
Spesies	: <i>Anadara granosa</i>

Kerang darah merupakan biota laut yang dapat hidup dikedalaman air mencapai 20 meter di daerah pesisir dan hidup berada dibawah lumpur (FAO, 2014). Persebaran kerang darah sangat luas di seluruh dunia mulai dari Pasifik

bagian barat, Afrika Timur membentang hingga Polinesia, bagian utara hingga selatan Jepang, dan bagian utara hingga timur Australia (FAO, 2014). Kerang darah merupakan *filter feeder* dimana cara makan yang dilakukan oleh kerang darah seperti konsep filtrasi dimana menyaring makanan yang ada pada air atau sedimen. Cara makan tersebut mengakibatkan semua zat yang terkandung dalam air dan sedimen masuk kedalam tubuh kerang tak terkecuali logam-logam yang ada sehingga sering ditemukan kandungan logam seperti Pb, Cu, Zn dalam daging maupun cangkang kerang (Os, 2014; Nasuha, 2013; Zahir et al. 2011).



Gambar 2.5 Kerang Darah (*Anadara granosa*)

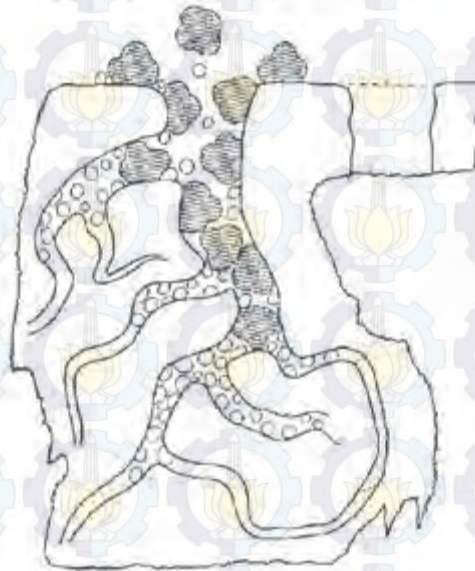
Sumber: Nasuha (2013)

Kandungan logam Pb, Cu, dan Zn yang terdapat pada cangkang kerang darah berturut-turut sebesar 10,10 $\mu\text{g/g}$, 17,90 $\mu\text{g/g}$, dan 680,85 $\mu\text{g/g}$. Kandungan logam yang terdapat pada cangkang kerang darah menandakan bahwa logam yang dapat terserap pada cangkang. Hal tersebut menunjukkan potensi pemanfaatan cangkang kerang darah sebagai adsorben. Potensi tersebut didukung dengan lokasi persebaran kerang darah yang cukup luas dan jumlah produksi kerang darah yang cukup besar. Produksi kerang darah cukup besar pada tahun 2010 mencapai 34.482 Ton dengan rata-rata peningkatan produksi tahun 2000-2010 sebesar 5,18% tiap tahun (Pemerintah RI, 2011).

2.4 Adsorpsi

Adsorpsi adalah proses akumulasi suatu substansi yang terdapat dalam larutan pada suatu padatan (Tchobanoglous et al., 2003). Menurut Roque-Malherbe (2007) adsorpsi didefinisikan peningkatan konsentrasi molekul gas pada permukaan zat padat atau peningkatan konsentrasi substansi terlarut pada interfase

antara zat cair dan zat padat. Ilustrasi adsorpsi seperti pada Gambar 2.6. Pada mekanisme adsorpsi zat cair atau gas yang terikat pada zat padat disebut sebagai adsorbat, sedangkan zat padat yang dapat mengikat disebut sebagai adsorben.



Gambar 2.6 Mekanisme Adsorpsi
Sumber: Ahmed (2012)

2.4.1 Jenis Adsorpsi, Faktor Adsorpsi, dan Aktivasi Adsorben

Adsorpsi secara umum dapat dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan gaya interaksi yang terjadi antara adsorben dan adsorbat. Dua jenis tersebut yaitu adsorpsi fisik dan adsorpsi kimia (Rouquerol et al., 1999; Reynold and Richard, 1996). Adsorpsi fisik yaitu adsorpsi yang terjadi akibat adanya gaya van der Waals, ikatan hydrogen, dan interaksi dipole (Ahmed, 2012). Adsorpsi fisik dapat terjadi bila gaya tarik menarik antara zat terlarut dengan adsorben lebih besar daripada gaya tarik menarik antara zat terlarut dengan pelarutnya (Reynold and Richard, 1996). Sedangkan adsorpsi kimia adalah adsorpsi yang terjadi karena adanya reaksi antara molekul adsorbat dengan permukaan adsorben dan terbentuknya ikatan kimia dan umumnya bersifat tidak bolak balik.

Adsorpsi dalam prosesnya dipengaruhi beberapa faktor. Faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi diantaranya yaitu: (Ahmed, 2012; Armenante, 1999)

1. Kecepatan dan waktu pengadukan

2. Luas area dan ukuran partikel adsorbent
3. Kelarutan adsorbat
4. Ukuran molekul adsorbat
5. pH
6. Temperatur

Faktor-faktor tersebut menjadikan adsorpsi memiliki spesifikasi dalam kemampuan menyisihkan berbagai bahan pencemar.

Upaya untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi suatu adsorben telah dilakukan dengan mengacu faktor-faktor yang ada. Salah satu upaya yang dilakukan yaitu memberikan perlakuan fisik atau kimia pada adsorben untuk memperluas permukaan adsorben. Perlakuan fisik yang dilakukan yaitu dengan memanaskan adsorben untuk memperluas permukaan dengan menghilangkan kadar air pada suhu 105°C (Hsu, 2009) dan zat organis pada suhu 550°C (Alaerts dan Santika, 1984). Penelitian Sahara (2011) menunjukkan peningkatan luas permukaan optimum pada adsorben lempung pada aktivasi dengan suhu 150°C. Penelitian Martín-González, et al., (2013) menunjukkan pada proses kalsinasi adsorben MCM-41 pada 550°C menunjukkan bahwa luas permukaan paling tinggi sebesar 1,059 m²/g. Aktivasi pada suhu 450 °C -550 °C meningkatkan kemampuan zeolit dalam menurunkan kadar garam NaCl dalam air hingga 80% dengan kondisi optimum menurunkan salinitas air pada saat kalsinasi dengan suhu 550°C (Gustian dan Suharto, 2005).

Perlakuan kimia yang dapat dilakukan untuk aktivasi yaitu dengan perendaman asam atau basa. Penelitian Ademiluyi dan David-West (2012) menunjukkan bahwa penggunaan asam berupa H₂SO₄, HNO₃, dan HCl dapat meningkatkan kemampuan penyisihan logam lebih baik dibandingkan dengan penggunaan basa NaOH dan H₃PO₄. Penggunaan asam dapat meningkatkan kemampuan penyisihan logam dikarenakan dapat memperluas permukaan, penelitian Shawabkeh et al., (2011) menunjukkan peningkatan luas permukaan adsorben oil fly ash dari 7,36 m²/g menjadi 157,76 m²/g dengan aktivasi asam H₂SO₄ dan HNO₃ dengan perbandingan volume 85:15. Aktivasi penggunaan H₂SO₄ pada pasir laut putih dapat meningkatkan luas permukaan spesifik batu pasir laut putih dari 25,2117 m²/g menjadi 30,1203 m²/g (Widihati, 2008).

Penelitian Ashoka dan Inamdar (2010) menunjukkan kemampuan asam sulfat (H_2SO_4) yang digunakan untuk aktivasi bagase tebu dan karbon aktif-a mempunyai kemampuan yang lebih baik daripada aktivasi dengan formaldehid pada adsorpsi metil merah. Penggunaan H_2SO_4 5% (0,5M) dapat meningkatkan luas permukaan adsorben dan menghilangkan pengotor yang terdapat pada adsorben (Rahman et al., 2009) sehingga meningkatkan kemampuan adsorpsi Pb, Cd, dan Cu menggunakan cangkang kelapa sawit.

2.4.2 Isotherm Adsorpsi

Isotherm adsorpsi adalah jumlah dari zat yang dapat terserap yang direpresentasikan pada suatu fungsi dari konsentrasi dan pada temperatur tertentu (Tchobanoglous, 2003) yang nantinya akan adanya suatu kesetimbangan dari proses adsorpsi. Kondisi dimana terjadi kesetimbangan dari zat yang dapat diserap setelah dilakukan adsorpsi disebut sebagai kesetimbangan adsorpsi. Beberapa model dari isotherm adsorpsi telah ada diantaranya yaitu Freundlich isotherm, Langmuir isotherm, Brunauer-Emmett-Teller (BET) equation, dan Isotherm tiga parameter (Febrianto et al., 2009; Crittenden dan Thomas, 1998). Model isotherm adsorpsi yang sering digunakan yaitu konsep Freundlich isotherm dan Langmuir isotherm seperti pada penelitian Chong et al. (2013) dimana konsep Freundlich dan Langmuir digunakan untuk menentukan model adsorpsi pada cangkang kelapa sawit.

Model Freundlich isotherm telah banyak digunakan untuk mendeskripsikan kesetimbangan adsorpsi pada bahan organik dan anorganik dengan berbagai variasi adsorben termasuk biosorben (Febrianto, et al., 2009). Persamaan Freundlich isotherm seperti pada persamaan (1) dan (2) (Reynold dan Richard, 1996; Tchobanoglous, 2003; Febrianto, 2009).

$$qe = \frac{x}{m} = K_f C_e^{1/n} \quad (1)$$

Dari persamaan (1) tersebut dapat dirubah menjadi persamaan (2) sebagai berikut:

$$\log qe = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (2)$$

Keterangan:

q_e = Adsorpsi maksimum pada kesetimbangan (mg/g)

C_e = Konsentrasi kesetimbangan larutan (mg/l)

K_f dan n = Konstanta Freundlich

Model Langmuir isotherm dikembangkan dengan asumsi bahwa jumlah permukaan yang dapat menampung adsorbat adalah tetap, sesuai dengan luas permukaan adsorben dan adsorpsi bersifat bolak balik (*reversible*) (Tchobanoglous, 2003). Kesetimbangan tercapai saat kecepatan adsorpsi pada permukaan sama dengan kecepatan desorpsi pada permukaan adsorben. Persamaan langmuir isotherm seperti pada persamaan (3) dan (4) (Febrianto, 2009; Tchobanoglous, 2003; Reynold dan Richard, 1996).

$$qe = \frac{x}{m} = q_{maks} \frac{K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (3)$$

Dari persamaan (3) tersebut dapat diubah menjadi persamaan (4) sebagai berikut:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{maks} K_L} + \frac{C_e}{q_{maks}} \quad (4)$$

Keterangan:

q_e = Kapasitas adsorpsi pada kesetimbangan (mg/g)

C_e = Konsentrasi kesetimbangan larutan (mg/L)

q_{maks} dan K_L = Konstanta

2.4.3 Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi merupakan suatu kajian untuk mengidentifikasi tipe dari mekanisme adsorpsi yang terjadi pada suatu adsorben. Kinetika adsorpsi direpresentasikan sebagai kecepatan penyisihan adsorbat yang berkaitan dengan waktu kontak dari adsorben dan adsorbat (Febrianto, 2009). Model yang digunakan dalam studi kinetika adsorpsi diantaranya yaitu Lagergren first-order model (orde satu) dan pseudo-second orde model (orde dua semu) (Cochrane et

al., 2006). Kedua model tersebut merupakan model yang paling sesuai dan banyak digunakan dalam kajian untuk mengetahui kinetika adsorpsi logam dan mengukur tingkat adsorpsi menggunakan adsorben dari biomasa (biosorben). Persamaan Lagergren orde satu seperti pada persamaan (5) sedangkan orde dua seperti persamaan (6) (Corchrane et al., 2006).

$$\text{Log}(q_e - q_t) = \text{Log}q_e - \frac{K_1}{2,303} t \quad (5)$$

Keterangan:

q_e = Jumlah ion yang terserap pada kesetimbangan (mg/g)

q_t = Jumlah ion yang terserap pada waktu t (mg/l)

K_1 = Konstanta kecepatan adsorpsi (menit⁻¹)

Berdasarkan persamaan tersebut maka dapat diketahui konstanta kecepatan adsorpsi (K_1) dengan cara membuat regresi linier dengan fungsi $\log(q_e - q_t)$ terhadap t (waktu).

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (6)$$

Keterangan:

q_e = Banyaknya ion yang teradsorpsi pada saat kesetimbangan (mg/g)

q_t = Banyaknya ion yang teradsorpsi pada saat t (mg/g)

k_2 = Konstanta laju pseudo-orde dua (menit⁻¹)

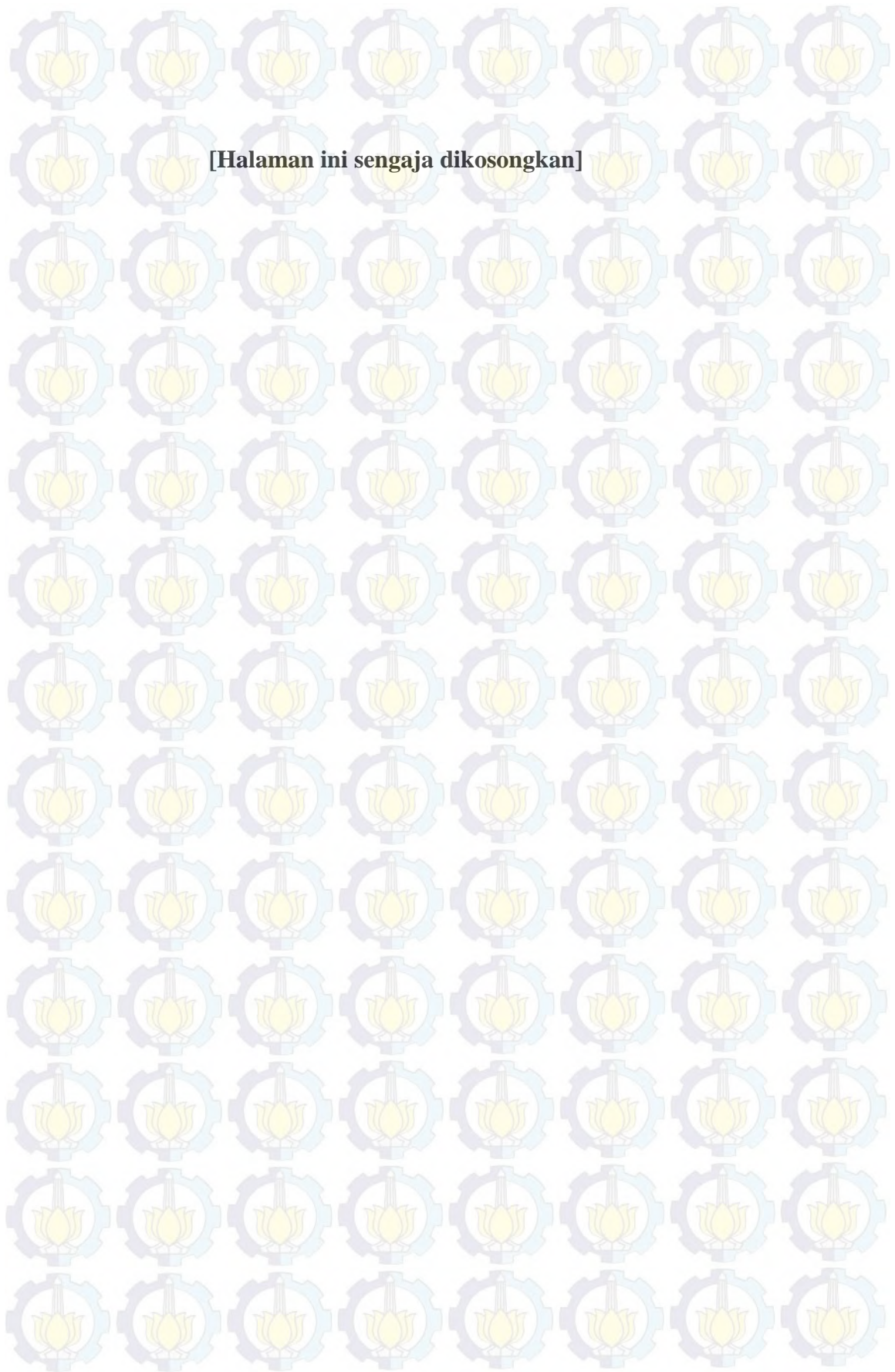
Berdasarkan persamaan tersebut maka dapat diketahui konstanta kecepatan adsorpsi (K_2) dengan cara membuat regresi linier dengan fungsi t/q_t terhadap t (waktu).

2.5 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya berkaitan dengan pemanfaatan biomassa sebagai adsorben. Penelitian terdahulu dapat digunakan sebagai referensi dalam pelaksanaan penelitian ini. Penelitian yang telah dilakukan terkait pemanfaatan biomassa sebagai adsorben logam seperti pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu Topik Adsorpsi

No.	Penelitian	Lingkup Penelitian	Hasil
1.	Adsorption of Copper to Different Biogenic Oyster Shell Structures (Wu et al., 2014)	Penelitian dilakukan dengan Konsentrasi air limbah buatan Cu^{2+} = 5-200 mg/l Waktu Kontak= 24 jam Adsorben= Serbuk cangkang tiram	Penyisihan Cu^{2+} mencapai 99,9% pada pH 5,5 Kapasitas adsorpsi 2,6mg/g – 8,9mg/g
2.	Removal of Heavy Metals from Aqueous Solution Using Snail Shell Powder as Available Adsorbent (Orodu et al., 2014)	Penelitian dilakukan dengan Konsentrasi air limbah buatan= Cd^{2+} =50 mg/l Fe^{2+} =50 mg/l Waktu kontak= 1 jam 15 menit, 150 rpm Adsorben= Serbuk cangkang siput	Penyisihan Cd^{2+} sebesar 93% dan Fe^{2+} sebesar 71,9%.
3.	Experimental assessment of adsorption of Cu^{2+} and Ni^{2+} from aqueous solution by oyster shell powder (Hsu, 2009)	Penelitian dilakukan dengan Konsentrasi air limbah= Cu^{2+} =0-200mg/l Ni^{2+} =0-200mg/l pH=2 Waktu kontak= 4jam Adsorben= Serbuk cangkang tiram	Kapasitas adsorpsi Cu^{2+} sebesar 49,26-103,1 mg/g dan Ni^{2+} = 48,75-94,3 mg/g
4.	Studies on the use of Oyster, Snail and Periwinkle Shell as a Adsorbents for the Removal og Pb^{2+} from Aqueous Solution (Odoemelan dan Eddy, 2008)	Penelitian dilakukan dengan Konsentrasi Air limbah Pb^{2+} = 0,000302-0,001208 M Waktu Kontak= 10,20,30, dan 40 menit Adsorben= Serbuk cangkang tiram Serbuk cangkang siput Serbuk cangkang siput laut	Penyisihan Pb^{2+} mencapai 99% dengan penyisihan cangkang siput>tiram>siput laut



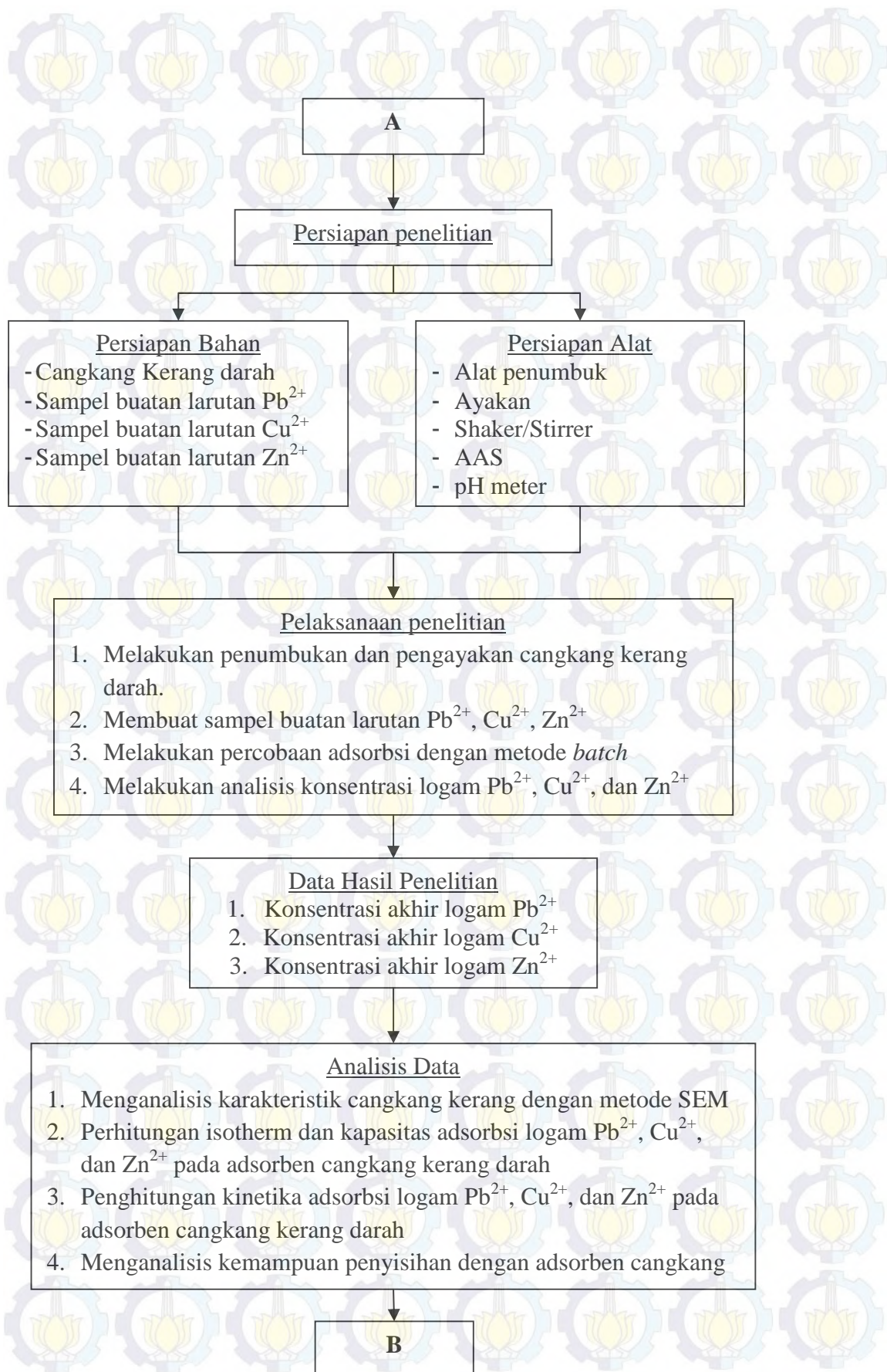
BAB 3

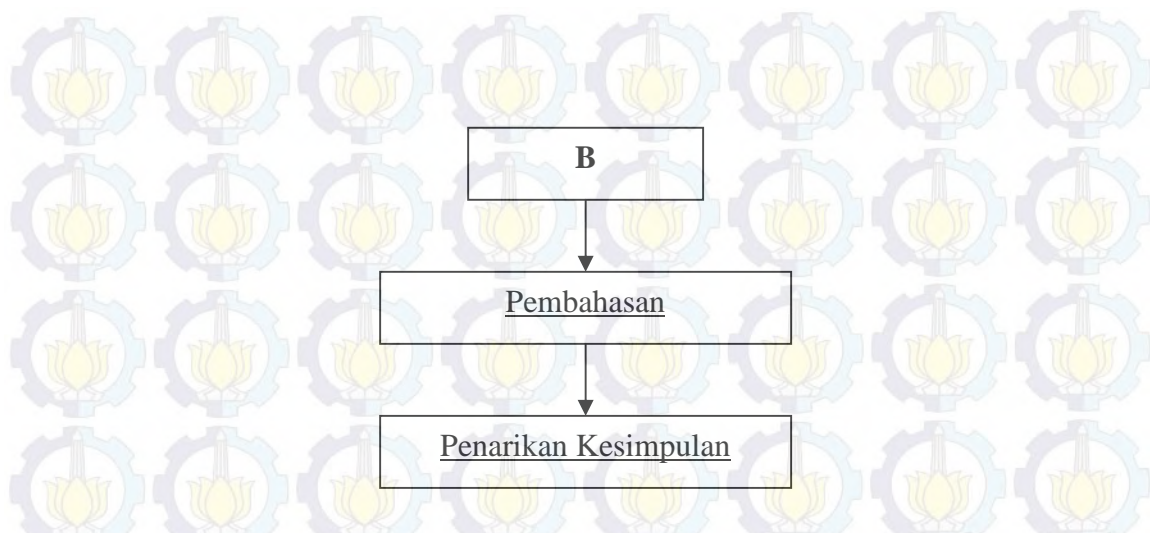
METODE PENELITIAN

3.1 Kerangka Perencanaan Penelitian

Perencanaan penelitian yang akan dilakukan disusun dalam bentuk kerangka penelitian. Kerangka penelitian diawali dengan perumusan ide penelitian sampai dengan penarikan kesimpulan. Secara garis besar penelitian yang akan dilakukan yaitu terkait dengan pemanfaatan limbah cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) sebagai adsorben ion logam dalam air. Bagan alir rencana penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.







Gambar 3.1 Kerangka Rencana Penelitian

3.2 Ide Penelitian

Ide penelitian ini adalah pemanfaatan limbah cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) sebagai adsorben. Hal tersebut muncul dikarenakan potensi dari cangkang kerang darah di Indonesia cukup besar belum dimanfaatkan secara maksimal dan pencemaran logam yang ada di perairan juga masih sering terjadi. Kedua permasalahan tersebut dicoba diselesaikan dengan memanfaatkan limbah cangkang kerang sebagai adsorben logam di dalam air. Sehingga perlu adanya penelitian terkait pemanfaatan cangkang kerang darah sebagai adsorben terkait dengan kemampuan kerang darah untuk menyisihkan logam dalam air.

3.3 Perumusan Masalah dan Tujuan

Perumusan masalah dan tujuan pada penelitian ini berdasarkan ide dan latar belakang penelitian. Rumusan masalah yang didapatkan sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) sebelum dan setelah digunakan sebagai adsorben logam?
2. Bagaimana isotherm adsorpsi Pb^{2+} , Cu^{2+} , dan Zn^{2+} dengan menggunakan adsorben cangkang kerang darah (*Anadara granosa*)?
3. Bagaimana kinetika adsorpsi Pb^{2+} , Cu^{2+} , dan Zn^{2+} dengan menggunakan adsorben cangkang kerang darah (*Anadara granosa*)?

4. Bagaimana kemampuan penyisihan logam menggunakan adsorben cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) berdasarkan ukuran partikel adsorben dan jenis aktivasi?

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, penelitian dilakukan untuk mendapatkan hasil karakteristik cangkang kerang dan kemampuan kerang darah dalam menyisihkan logam Pb^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} . Selain itu, penelitian juga bertujuan untuk mendapatkan hasil analisis kinetika adsorpsi dan mengetahui perbedaan ukuran adsorben terhadap kemampuan penyisihan logam.

3.4 Studi Literatur

Studi literatur sangat dibutuhkan untuk mendukung penelitian yang lebih mendalam terkait kemampuan cangkang kerang menyisihkan logam dalam air. Literatur yang digunakan dalam penelitian ini berupa jurnal, buku, peraturan perundangan, dan hasil penelitian lainnya yang berkaitan dengan adsorpsi logam.

3.5 Penentuan Variabel dan Parameter Penelitian

Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini yaitu variasi jenis adsorbat, ukuran partikel adsorben, dan jenis aktivasi. Adsorbat yang digunakan yaitu logam Pb^{2+} , Cu^{2+} , dan Zn^{2+} . Ukuran partikel adsorben dibedakan menjadi granular dan powder. Ukuran partikel granular sebesar 0,14-0,29 mm dan powder sebesar $<0,074$ mm (Tchobanoglous et al., 2003). Jenis aktivasi yang dilakukan yaitu pemanasan dengan suhu $105^{\circ}C$, $550^{\circ}C$, dan pencucian adsorben dengan asam H_2SO_4 0,5M. Pemanasan suhu $105^{\circ}C$ digunakan untuk menghilangkan kadar air yang terkandung dalam adsorben (Hsu, 2009; Ademiluyi dan David West, 2010). Pemanasan $550^{\circ}C$ digunakan untuk memperluas permukaan adsorben (Monash dan Pugazhenthii, 2010). Aktivasi dengan menggunakan asam dilakukan untuk mengurangi kandungan pengotor dan meningkatkan luas permukaan (Rahman et al., 2012) asam yang digunakan yaitu H_2SO_4 0,5M (Ademiluyi dan David-west, 2012, Rahman et al, 2012). Massa adsorben yang ditambahkan yaitu 0,1gram, 0,2gram, 0,3gram, 0,4gram, dan 0,5gram. Waktu kontak yang digunakan yaitu antara 0,5 jam; 1 jam, 2jam; 4jam; 6jam.

3.6 Persiapan Penelitian

3.6.1 Persiapan Adsorben Cangkang Kerang Darah (*Anadara granosa*)

Adsorben yang digunakan berasal dari cangkang kerang darah (*Anadara granosa*). Persiapan adsorbrben cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) dilakukan di laboratorium Jurusan Teknik Lingkungan ITS. Cangkang kerang darah yang akan digunakan dilakukan penumbukan dan pengayakan (Chong et al., 2013; Rahman et al., 2012). Pengayakan dilakukan dengan ukuran yang telah ditentukan yaitu untuk partikel granular sebesar 0,14-0,29 mm dan powder/serbuk sebesar <0,074 mm (Tchobanoglous et al., 2003). Ukuran partikel 0,14-0,29 mm didapatkan dari granular cangkang kerang yang lolos pada ayakan 50 mesh dan tertahan pada ayakan 100 mesh. Ukuran partikel <0,074 mm didapatkan dari powder cangkang kerang yang lolos ayakan 200 mesh. Cangkang kerang yang telah dipisahkan sesuai ukurannya kemudian dilakukan pencucian dengan menggunakan aquades hingga pH 6-7.

Perlakuan selanjutnya pada adsorben cangkang kerang darah yaitu perlakuan yaitu pemanasan 105°C, 550°C, dan perendaman dengan asam H₂SO₄ 0,5M. Perlakuan dilakukan untuk memperluas permukaan sehingga diharapkan dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi. Pemanasan 105°C dilakukan selama 24 jam (Hsu, 2009) menggunakan oven untuk menghilangkan kadar air yang ada pada cangkang darah. Pemanasan 550°C dilakukan selama 2 jam (Rahman et al., 2012; Martín-Gonzáles, et al., 2013) menggunakan furnace untuk menghilangkan pengotor berupa zat organik yang terdapat pada cangkang kerang darah dan memperluas permukaan. Perendaman dengan asam dilakukan dengan menggunakan H₂SO₄ 0,5M dan dilakukan pengadukan selama 1 jam kemudian dibiarkan selama 24 jam (Rahman et al., 2012; Sahara, 2012). Adsorben cangkang kerang darah yang telah direndam dengan asam tersebut dicuci dengan menggunakan air demineral hingga pH supernatan mencapai pH 6-7 dan dikeringkan dengan menggunakan oven bersuhu 105°C selama 24 jam.

3.6.2 Karakterisasi Adsorben Cangkang Kerang Darah (*Anadara granosa*)

Adsorben cangkang kerang darah sebelum digunakan sebagai adsorben logam perlu dilakukan karakterisasi. Karakterisasi digunakan untuk mengetahui

kandungan dari cangkang kerang darah dan gambaran permukaan butiran cangkang kerang dengan menggunakan metode *Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray Analysis* (SEM-EDX) merk Hitachi di Laboratorium Biosains Universitas Brawijaya.

3.6.3 Pembuatan Larutan Pb^{2+} 100 mg/l

Pembuatan larutan Pb dengan konsentrasi 100 μ g Pb/ml atau 100 mg/l dapat dilakukan dengan cara melarutkan 0,1599 gram $Pb(NO_3)_2$ dengan 200 ml aquades kemudian diencerkan dengan menambahkan aquades hingga 1000 ml (APHA, 2005). Pengaturan pH larutan dengan menambahkan NaOH hingga pH ± 6 , dimana pada pH ± 6 larutan telah memenuhi baku mutu jika dibuang ke lingkungan perairan (Pemerintah RI, 2001;Pemerintah RI, 2004; Pemerintah RI, 2013) dan pada kondisi tersebut konsentrasi Pb^{2+} 100 mg/l masih dalam kondisi terlarut (Tchobanoglous et al., 2003).

3.6.4 Pembuatan Larutan Cu^{2+} 100 mg/l

Pembuatan larutan Cu dengan konsentrasi 100 μ g Cu/ml atau 100 mg/l dapat dilakukan dengan cara melarutkan 0,100 gram logam Cu p.a dengan 10 ml HNO_3 . Kemudian diencerkan dengan menambahkan aquades hingga 1000 ml (APHA, 2005) atau dengan melarutkan 0,39279 gram $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ dengan 1000 ml aquades. Pengaturan pH larutan dengan menambahkan NaOH hingga pH ± 6 , dimana pada pH ± 6 larutan telah memenuhi baku mutu jika dibuang ke lingkungan perairan (Pemerintah RI, 2001;Pemerintah RI, 2004; Pemerintah RI, 2013) dan pada kondisi tersebut konsentrasi Cu^{2+} 100 mg/l masih dalam kondisi terlarut (Tchobanoglous et al., 2003).

3.6.5 Pembuatan Larutan Zn^{2+} 100 mg/l

Pembuatan larutan Zn dengan konsentrasi 100 μ g Zn/ml atau 100 mg/l dapat dilakukan dengan cara melarutkan 0,100 gram logam Zn p.a dengan 10 ml HCl. Kemudian diencerkan dengan menambahkan aquades hingga 1000 ml (APHA, 2005) atau dengan melarutkan 0,439608 gram $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ dengan 1000

ml aquades. Pengaturan pH larutan dengan menambahkan NaOH hingga pH ± 6 , dimana pada pH ± 6 larutan telah memenuhi baku mutu jika dibuang ke lingkungan perairan (Pemerintah RI, 2001; Pemerintah RI, 2004; Pemerintah RI, 2013) dan pada kondisi tersebut konsentrasi Pb^{2+} 100 mg/l masih dalam kondisi terlarut (Tchobanoglous et al., 2003).

3.7 Pelaksanaan Penelitian

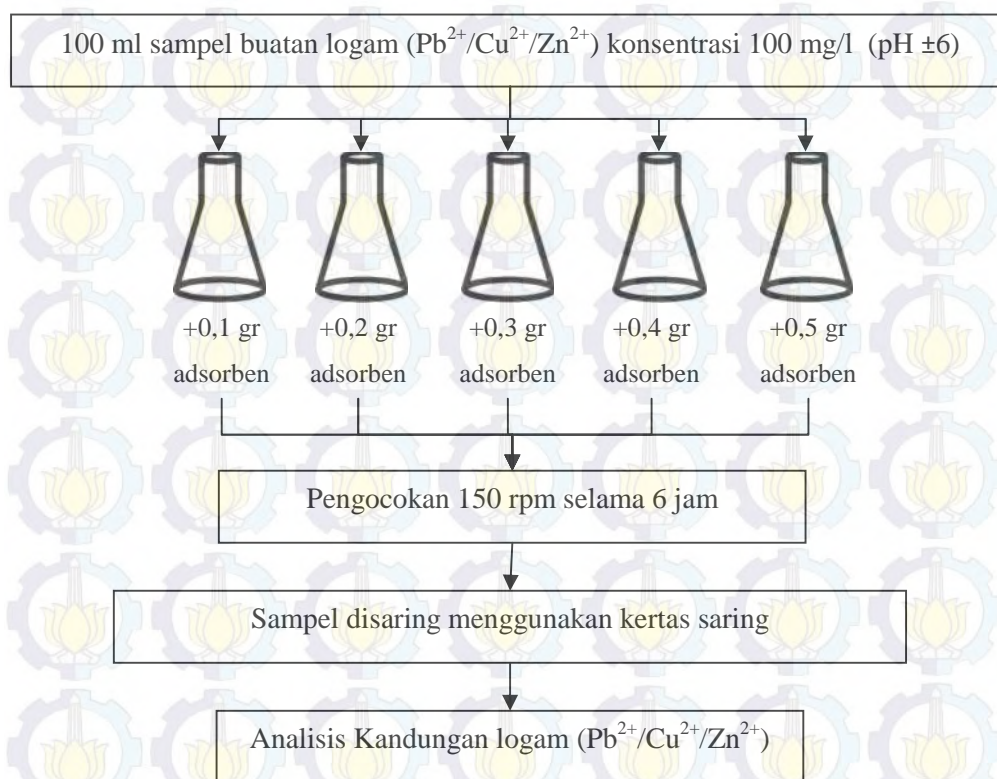
3.7.1 Percobaan Isotherm Adsorpsi Cangkang Kerang Darah

Percobaan isotherm adsorpsi cangkang kerang darah dilakukan di Laboratorium Jurusan Teknik Lingkungan ITS secara *batch* dengan variasi jenis adsorben berupa partikel granular sebesar 0,14-0,29 mm dan powder sebesar $<0,074$ mm dan variasi perlakuan yaitu pemanasan 105°C , pemanasan 550°C , perendaman asam H_2SO_4 0,5M dengan massa adsorben yang ditambahkan yaitu 0,1-0,5 gram. Percobaan dilakukan dengan memasukkan 100 ml sampel buatan dengan konsentrasi 100 mg/l masing-masing logam ke dalam erlenmayer kemudian ditambahkan adsorben sesuai dengan variasi yang telah ditentukan. Proses selanjutnya yaitu pengocokan sampel buatan dan adsorben dengan kecepatan 150 rpm (Orodu, 2014) selama 6 jam kemudian sampel dilakukan penyaringan dengan menggunakan kertas saring (Varga et al., 2013). Sampel yang telah tersaring dilakukan analisis kandungan masing-masing logam metode AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*) merk Shimadzu 6200 di Laboratorium Balai Riset dan Standardisasi Industri Surabaya (BARISTAND Industri Surabaya). Skema percobaan tersaji pada Gambar 3.2.

3.7.2 Percobaan Kinetika Adsorpsi Cangkang Kerang Darah

Percobaan kinetika adsorpsi cangkang kerang darah dilakukan di Laboratorium Jurusan Teknik Lingkungan ITS secara *batch* dengan variasi jenis adsorben berupa partikel granular sebesar 0,14-0,29 mm dan powder sebesar $<0,074$ mm dan variasi perlakuan yaitu pemanasan 105°C , pemanasan 550°C , perendaman asam H_2SO_4 0,5M dengan variasi waktu kontak antara 0,5 jam; 1 jam, 2 jam; 4 jam; dan 6 jam. Percobaan dilakukan dengan memasukkan 100 ml sampel buatan

dengan konsentrasi 100 mg/l masing-masing logam ke dalam erlenmayer kemudian ditambahkan adsorben sebanyak 1 gram. Proses selanjutnya yaitu pengocokan sampel buatan dan adsorben dengan kecepatan 150 rpm dengan waktu kontak sesuai dengan variasi yang dilakukan kemudian sampel dilakukan penyaringan dengan menggunakan kertas saring dan dilakukan analisis kandungan masing-masing logam menggunakan metode AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*) merk Shimadzu 6200 di Laboratorium Balai Riset dan Standardisasi Industri Surabaya (BARISTAND Industri Surabaya).



Gambar 3.2 Skema Percobaan Penentuan Isotherm dan Kapasitas Adsorpsi

3.8 Data Hasil Penelitian

Data hasil penelitian didapatkan dari hasil analisis kandungan logam Pb, Cu, dan Zn setelah dilakukan percobaan. Data yang didapat dimasukkan kedalam tabel untuk memudahkan analisa data. Data hasil percobaan isotherm adsorpsi dimasukkan kedalam Lampiran 1 sedangkan data hasil percobaan kinetika adsorpsi dimasukkan kedalam Lampiran 2.

3.9 Analisis Data

3.9.1 Analisis Karakteristik Cangkang Kerang Darah

Analisis karakteristik cangkang kerang darah dilakukan dari data hasil SEM-EDX dengan cara membandingkan karakteristik cangkang kerang darah sebelum digunakan sebagai adsorben logam dengan setelah digunakan sebagai adsorben Pb^{2+} , Cu^{2+} dan, Zn^{2+} .

3.9.2 Analisis Isotherm Adsorpsi

Analisis isotherm dilakukan dengan memodelkan hasil yang telah didapatkan. Konsep isotherm yang digunakan yaitu konsep Freundlich dan Langmuir. Analisis ini dilakukan untuk mendapatkan model Freundlich dan Langmuir serta koefisien yang ada. Rumus Freundlich dan Langmuir yang digunakan seperti persamaan (1) (2) (3) (4).

3.9.3 Analisis Kinetika Adsorpsi

Analisis kinetika adsorpsi dilakukan untuk mengevaluasi kecepatan cangkang kerang darah dalam mengadsorpsi logam. Analisis yang digunakan yaitu analisis kinetika orde pertama semu dan kinetika orde kedua semu seperti pada persamaan (5) (6).

3.9.4 Analisis Kemampuan Penyisihan Logam Berdasarkan Ukuran Partikel

Analisis kemampuan penyisihan logam berdasarkan ukuran partikel dan jenis aktivasi cangkang kerang darah dengan membandingkan kemampuan penyisihan logam berdasarkan ukuran partikel adsorben dan jenis aktivasi.

3.10 Pembahasan

Pembahasan yang dilakukan berdasarkan hasil analisis data dan mengacu pada studi literatur yang telah dilakukan. Pembahasan juga dilakukan dengan membandingkan hasil penelitian ini dengan penelitian yang telah ada sebelumnya yang terkait dengan adsorpsi.

3.11 Penarikan Kesimpulan

Tahap penarikan kesimpulan merupakan tahap akhir dalam penelitian ini. Penarikan kesimpulan dilakukan berdasarkan data yang telah dianalisis. Kesimpulan yang dihasilkan harus menjawab permasalahan dan tujuan yang telah ditetapkan.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

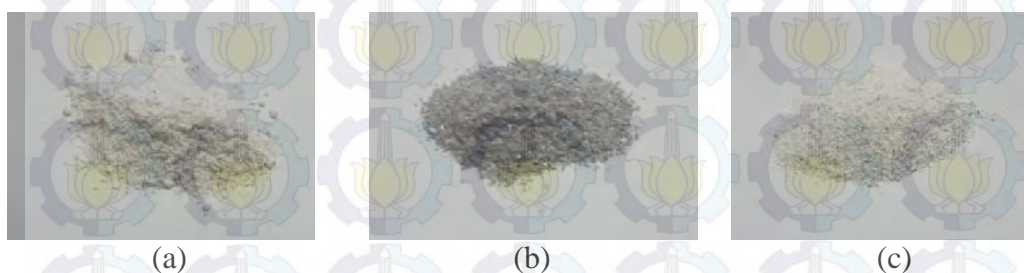
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik cangkang kerang darah yang digunakan sebagai adsorben, mengetahui model isotherm beserta kapasitas adsorpsi cangkang kerang darah, mengetahui kinetika adsorpsi, dan perbedaan kemampuan penyisihan Pb^{2+} , Cu^{2+} , dan Zn^{2+} dengan menggunakan adsorben cangkang kerang darah. Penelitian dilakukan menggunakan sistem *batch* dengan beberapa variasi perlakuan diantaranya yaitu ukuran cangkang kerang dan aktivasi adsorben cangkang kerang darah (*Anadara granosa*).

4.1 Karakteristik cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) sebelum dan setelah digunakan sebagai adsorben

Cangkang kerang darah yang akan digunakan sebagai adsorben dilakukan perlakuan yaitu dengan penumbukan dan pengayakan sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan yaitu sebesar 0,14-0,29 mm dan <0,074 mm. Pencucian serbuk cangkang kerang dengan menggunakan aquades juga dilakukan sebelum cangkang kerang digunakan sebagai adsorben. Pencucian dilakukan untuk menjaga pH cangkang kerang ketika digunakan sebagai adsorben sehingga dalam pelaksanaan adsorpsi pH larutan tidak berubah. Pencucian dilakukan hingga air hasil cucian kerang darah mencapai pH 7.

Selain itu cangkang kerang juga dilakukan aktivasi dengan pemanasan 110°C, 550°C, dan perendaman asam H_2SO_4 . Hasil perlakuan pada cangkang kerang darah seperti pada gambar 4.1. Perlakuan cangkang kerang darah dengan pemanasan suhu 110°C digunakan untuk menghilangkan kadar air (Hsu, 2009) dalam cangkang kerang darah sehingga dapat lebih optimal dalam proses adsorpsi. Pemanasan cangkang kerang darah dengan suhu 550°C dilakukan dengan harapan dapat menghilangkan zat organis yang terdapat pada cangkang kerang darah. Aktivasi dengan suhu 550°C dapat meningkatkan luas permukaan adsorben (Martín-González, et al., 2013) dengan tujuan dapat meningkatkan kemampuan peyerapan. Hasil perlakuan dengan pemansan 550°C menyebabkan warna cangkang kerang berubah dari berwarna putih kecokelatan menjadi abu-

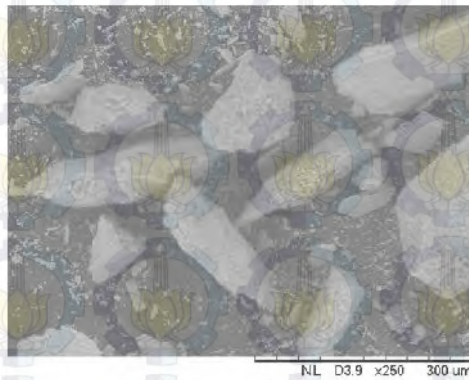
abu. Sedangkan pada aktivasi dengan menggunakan asam menyebabkan perubahan pada cangkang kerang lebih bersih dan berwarna putih. Hal tersebut dapat dikarenakan asam yang digunakan dapat melarutkan unsur penyusun kerang sehingga menjadi lebih teratur dan bersih. Aktivasi dengan perendaman H_2SO_4 dapat meningkatkan luas permukaan dengan menghilangkan pengotor yang terdapat pada adsorben (Rahman, et al., 2009).



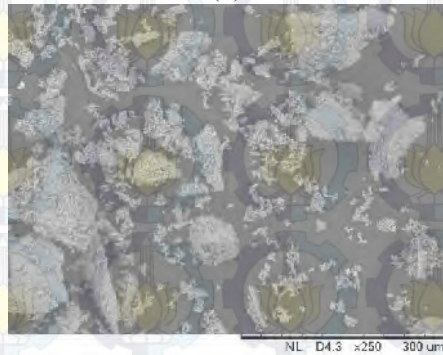
Gambar 4.1 (a) Cangkang Kerang Darah Granule Pemanasan $110^{\circ}C$; (b) Cangkang Kerang Darah Granule Pemanasan $550^{\circ}C$; (c) Cangkang Kerang Darah Granule Perendaman H_2SO_4

Adsorben cangkang kerang darah dilakukan uji karakteristik dengan menggunakan metode SEM EDX untuk mengetahui bagaimana bentuk permukaan dan kandungan yang terdapat pada cangkang kerang darah. Hasil karakterisasi cangkang kerang darah sebelum digunakan sebagai adsorben mengandung kalsium, karbon, dan oksigen. Komposisi dari zat penyusun cangkang kerang tersebut yaitu kalsium (Ca) sebesar 28,888%, karbon (C) sebesar 20,902%, oksigen (O) sebesar 49,958%, dan sodium (Na) sebesar 0,251%. Hasil tersebut sesuai dengan komposisi cangkang kerang pada umumnya yang tersusun dari $CaCO_3$ (Aopreeya, et al., 2013). Karakteristik permukaan cangkang kerang darah sebelum digunakan sebagai adsorben terlihat batuan berbentuk prisma seperti pada gambar 4.2. Gambar tersebut menunjukkan permukaan cangkang kerang darah yang berongga. Rongga tersebut diharapkan dapat menjadi tempat adsorpsi ion logam yang akan dilakukan penyisihan. Hasil SEM menunjukkan ada beberapa perbedaan yang dikarenakan perlakuan pada adsorben cangkang kerang darah. Pemanasan $550^{\circ}C$ menyebabkan ukuran partikel adsorben menjadi lebih kecil dibandingkan dengan pemanasan $110^{\circ}C$. Hal tersebut dapat diharapkan

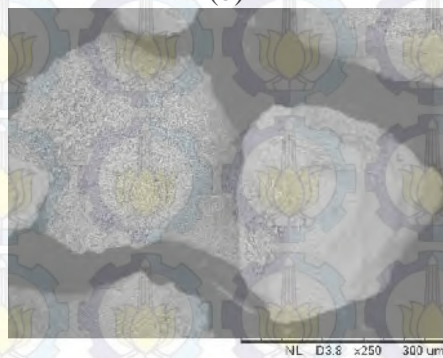
dapat memperluas permukaan adsorben sehingga lebih meningkatkan kemampuan adsorpsi.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.2 Karakteristik Cangkang Kerang Darah Sebelum Adsorpsi (a) Granule Pemanasan 110°C; (b) Pemanasan 550°C; (c) Granule Perendaman H₂SO₄

Perlakuan dengan perendaman H₂SO₄ dilakukan untuk merubah struktur permukaan cangkang kerang darah. Reaksi yang terjadi ketika cangkang kerang darah diberikan perlakuan perendaman asam seperti berikut: (Fusi et al., 2013)



Berdasarkan persamaan tersebut, struktur CaCO_3 pada cangkang kerang teralut ketika dilakukan perendaman dengan asam sehingga menyebabkan permukaan cangkang kerang darah sebelum perlakuan yang memiliki struktur seperti prisma dengan permukaan tidak beraturan seperti pada Gambar 4.2 (a) berubah menjadi gumpalan yang lebih halus karena permukaan yang tidak beraturan larut dengan H_2SO_4 . Hal tersebut menyebabkan permukaan lebih beraturan dan tidak banyak rongga seperti pada Gambar 4.2 (c).

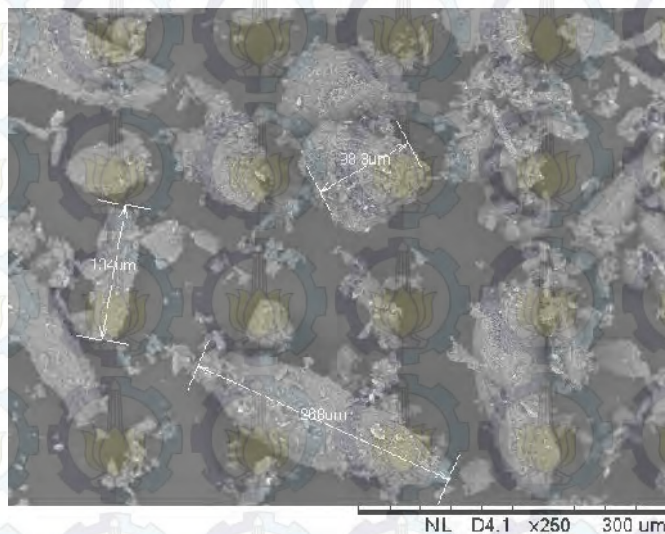
Cangkang kerang darah yang telah dilakukan preparasi dan perlakuan kemudian digunakan sebagai adsorben Pb^{2+} , Cu^{2+} , dan Zn^{2+} . Cangkang kerang darah yang telah digunakan untuk adsorben juga dilakukan karakterisasi yang bertujuan untuk mengetahui apakah cangkang kerang darah tersebut dapat mengadsorpsi Pb^{2+} , Cu^{2+} , dan Zn^{2+} yang terdapat dalam air. Hasil dari karakterisasi menggunakan SEM EDX menunjukkan bahwa cangkang kerang darah yang digunakan sebagai adsorben dapat mengadsorpsi Pb^{2+} , Cu^{2+} , dan Zn^{2+} yang ditandai dengan adanya unsur Pb, Cu, dan Zn pada cangkang kerang darah. Komposisi dari masing-masing cangkang kerang darah yang digunakan sebagai adsorben tersaji pada tabel 4.1 dan permukaan dari cangkang kerang darah yang telah digunakan pada adsorpsi seperti pada gambar 4.3-4.5.

Tabel 4.1 Karakteristik Adsorben Cangkang Kerang Darah (*Anadara granosa*)

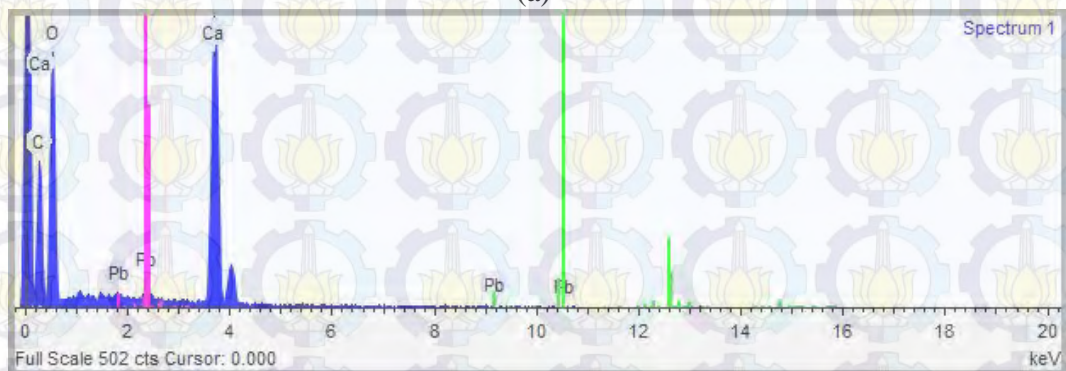
Elemen	Karakteristik Adsorben Cangkang Kerang Darah (% massa)		
	Pb^{2+}	Cu^{2+}	Zn^{2+}
Karbon (C)	19,516	26,381	22,763
Oksigen (O)	58,603	47,715	50,724
Kalsium (Ca)	21,094	25,537	23,818
Timbal (Pb)	0,787		
Tembaga (Cu)		0,367	
Seng (Zn)			2,695

Jumlah (%massa) yang teradsorpsi masing-masing ion logam pada cangkang kerang darah yang digunakan sebagai adsorben memiliki jumlah yang berbeda sesuai hasil seperti pada Tabel 4.1. Kandungan Pb, Cu, dan Zn dalam cangkang kerang darah yang digunakan sebagai adsorben berturut-turut sebesar 0,787%,

0,367%, dan 2,695%. Kandungan logam yang terdapat pada cangkang kerang darah setelah adsorpsi paling tinggi yaitu Zn mencapai 2,695% dan yang paling rendah yaitu Cu mencapai 0,367%. Banyaknya jumlah logam sangat bervariasi tergantung dari proses yang teradsorpsi. Proses adsorpsi yang terjadi pada cangkang kerang darah sebagai adsorben dapat terjadi karena beberapa proses seperti adsorpsi secara fisik dan kimia (Hsu, 2009; Wu et al., 2014).

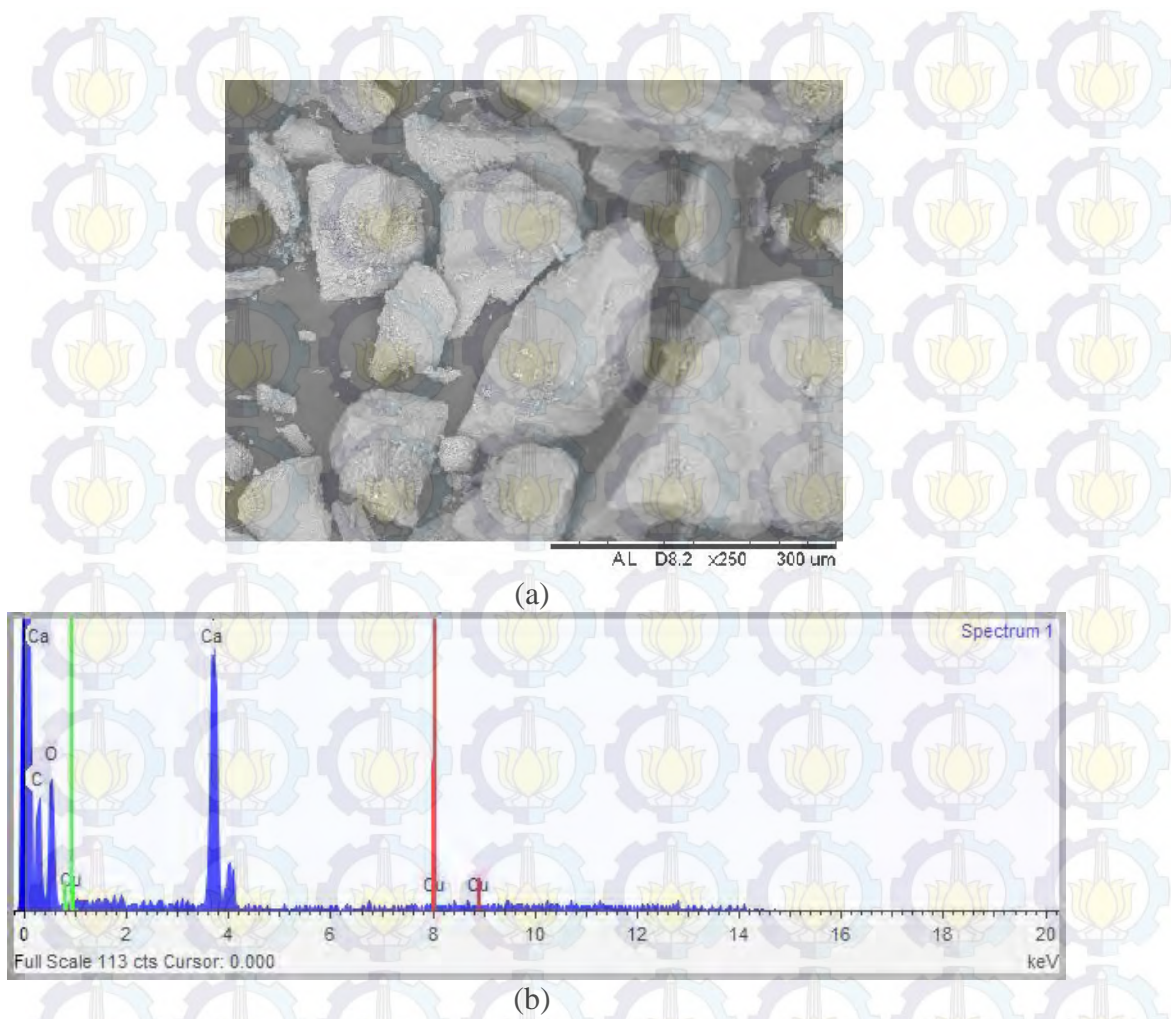


(a)

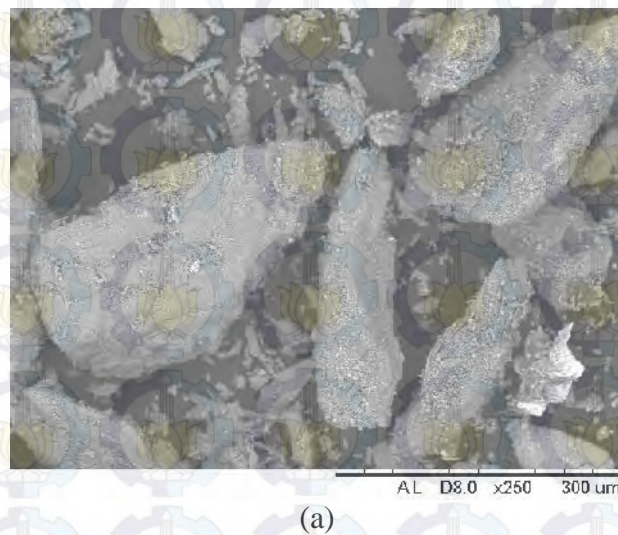


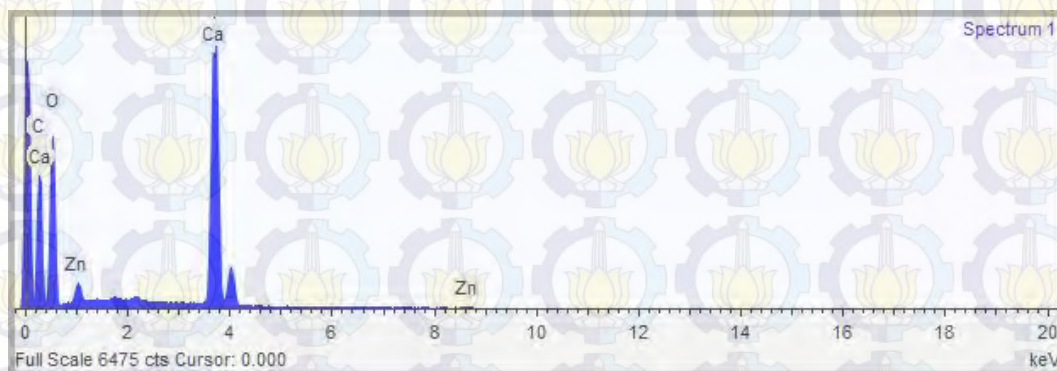
(b)

Gambar 4.3 (a) Karakteristik Permukaan Cangkang Kerang Darah Setelah Adsorpsi Pb^{2+} , (b) Karakteristik Kandungan Cangkang Kerang Darah Setelah Adsorpsi Pb^{2+}



Gambar 4.4 (a) Karakteristik Permukaan Cangkang Kerang Darah Setelah Adsorpsi Cu^{2+} , (b) Karakteristik Kandungan Cangkang Kerang Darah Setelah Adsorpsi Cu^{2+}





(b)

Gambar 4.5 (a) Karakteristik Permukaan Cangkang Kerang Darah Setelah Adsorpsi Zn^{2+} , (b) Karakteristik Kandungan Cangkang Kerang Darah Setelah Adsorpsi Zn^{2+}

Hasil tersebut menunjukkan adanya Pb, Cu, dan Zn yang teradsorpsi pada permukaan cangkang kerang darah yang berarti bahwa cangkang kerang darah dapat digunakan sebagai adsorben dimana Pb, Cu, dan Zn dari air akan terserap dalam permukaan cangkang kerang darah. Pada penelitian yang dilakukan Wu et al., (2014) juga menunjukkan bahwa hasil karakterisasi cangkang tiram yang digunakan sebagai adsorben dapat menyerap Cu yang ditandai dengan adanya signal Cu pada hasil EDX sehingga dapat diketahui bahwa cangkang kerang darah dapat digunakan sebagai adsorben. Potensi cangkang kerang darah yang dapat digunakan sebagai adsorben juga harus terdapat beberapa pertimbangan dalam penggunaannya karena cangkang kerang yang telah digunakan sebagai adsorben ion logam berat seperti Pb^{2+} , Cu^{2+} , dan Zn^{2+} akan menghasilkan limbah padat berupa cangkang kerang yang terkontaminasi limbah logam berat sehingga perlu dilakukan pengelolaan selanjutnya.

4.2 Isotherm dan Kapasitas Adsorpsi Pb^{2+} , Cu^{2+} , dan Zn^{2+}

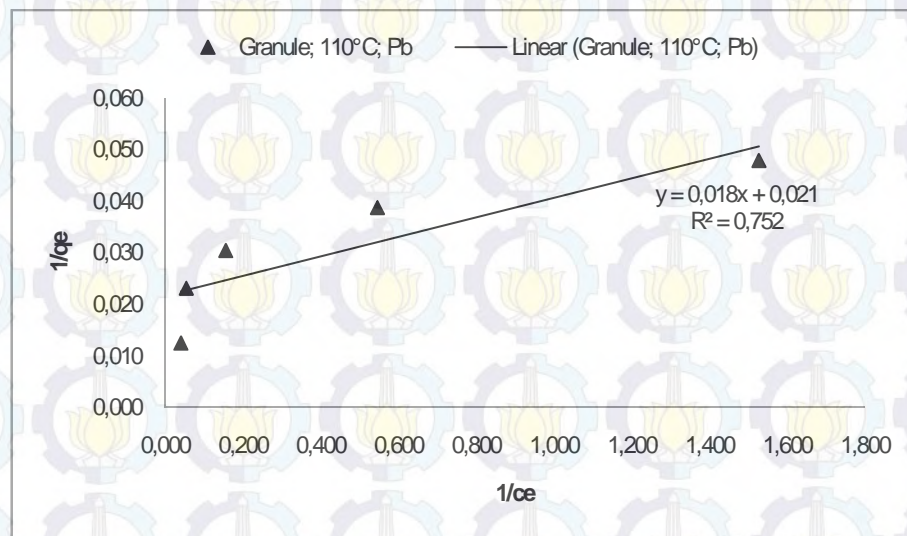
Isotherm dan kapasitas adsorpsi dilakukan dengan menggunakan analisis model isotherm Langmuir dan Freundlich. Langmuir model mengasumsikan bahwa dalam adsorpsi jumlah permukaan yang dapat penampung adsorbat adalah tetap dan homogen (Tchobanoglous, 2003; Hsu, 2009). Freundlich model mengasumsikan bahwa permukaan yang menampung adsorbat heterogen Hsu, 2009). Persamaan-persamaan yang digunakan mengacu pada persamaan (1),(2),(3), dan (4). Proses adsorpsi oleh adsorben cangkang kerang darah

dilakukan berdasar variasi ukuran butiran (Granule: 0,14-0,29mm dan Powder: <0,074mm) dan aktivasi (pemanasan 110°C, pemanasan 550°C, dan perendaman H₂SO₄ 0,5M) dari masing-masing adsorben. Percobaan adsorpsi yang bertujuan untuk mengetahui isotherm adsorpsi dari cangkang kerang darah dilakukan dengan melakukan percobaan *batch*. Percobaan *batch* dilakukan dengan memberikan dosis (massa) adsorben yang bervariasi yaitu 0,1 gram; 0,2 gram; 0,3 gram; 0,4 gram; dan 0,5 gram. Percobaan *batch* tersebut dilakukan selama 6 jam dengan dilakukan pengocokan menggunakan rotary shaker. Hasil percobaan masing-masing jenis logam dilakukan analisis dengan menggunakan AAS untuk mengetahui kandungan Pb²⁺, Cu²⁺, dan Zn²⁺ pada akhir percobaan. Hasil analisis tersebut yang akan digunakan untuk mengetahui isotherm masing-masing logam.

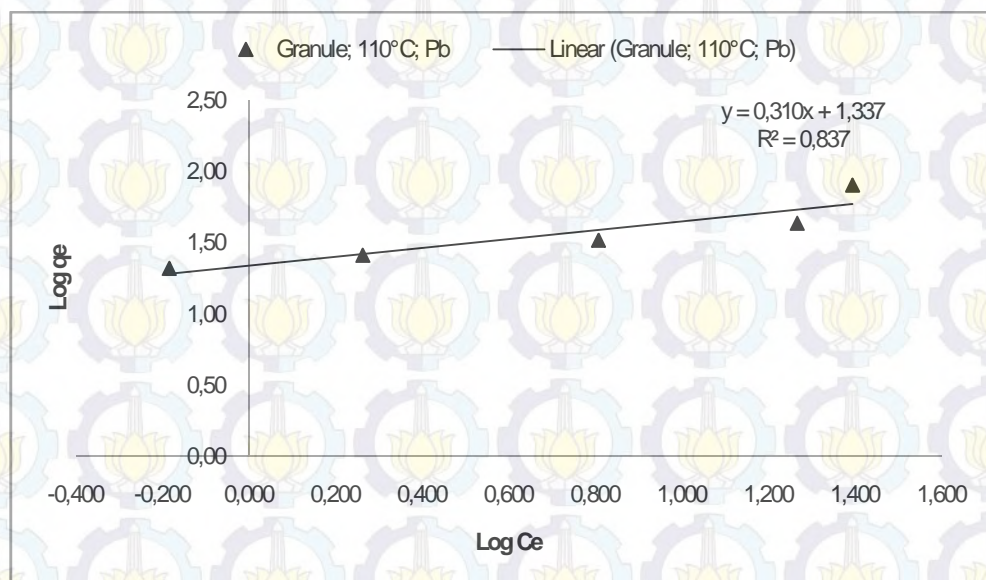
4.2.1 Isotherm Adsorpsi Pb²⁺

Hasil analisis pada cangkang kerang darah yang digunakan sebagai adsorben menunjukkan bahwa cangkang kerang darah dapat digunakan untuk adsorpsi Pb²⁺. Upaya untuk mengetahui kemampuan adsorpsi cangkang kerang darah terhadap Pb²⁺ maka dilakukan analisis isotherm menggunakan model Langmuir dan Freundlich. Model Langmuir diperoleh dengan membuat grafik berdasarkan persamaan (4) yang diploting kedalam grafik untuk diketahui tren regresi dari data tersebut. Model Freundlich diperoleh dengan membuat grafik berdasarkan persamaan (2) yang diploting kedalam grafik untuk diketahui tren regresi dari data tersebut. Hasil ploting model Langmuir dan Freundlich pada cangkang kerang yang digunakan untuk adsorpsi Pb²⁺ seperti pada gambar 4.6 dan 4.7.

Hasil ploting menghasilkan suatu persamaan linier yang dapat digunakan untuk mengetahui masing-masing konstanta pada persamaan Langmuir dan Freundlich. Persamaan Langmuir dapat memberikan informasi berdasarkan persamaan linier yang dihasilkan yaitu berupa kapasitas maksimum adsorbat yang dapat terserap oleh adsorben dilambangkan dengan Q_m dan konstanta Langmuir yang dilambangkan oleh K_L. Sedangkan pada persamaan Freundlich didapatkan informasi yaitu K_f dan n yang merepresentasikan kapasitas adsorpsi dan intensitas penyerapan (Dahiya et al., 2007; Hsu, 2009).



Gambar 4.6 Model Langmuir Adsorpsi Pb^{2+} dengan Adsorben Cangkang Kerang Darah Granule 110°C



Gambar 4.7 Model Freundlich Adsorpsi Pb^{2+} dengan Adsorben Cangkang Kerang Darah Granule 110°C

Persamaan linier yang dihasilkan dari plotting seperti gambar 4.6 dan 4.7 dilakukan analisis untuk mengetahui konstanta sesuai dengan masing-masing model yaitu Langmuir dan Freundlich. Dengan cara yang sama, dilakukan plotting dan analisis dari hasil adsorpsi menggunakan adsorben yang berbeda perlakuan seperti pada Lampiran 3 Hasil dari analisis persamaan tersebut menghasilkan data seperti tersaji pada tabel 4.2. Data pada tabel tersebut menunjukkan bervariasinya

konstanta pada masing-masing adsorben yang telah diberi perlakuan baik dari segi ukuran maupun dari segi aktivasi.

Tabel 4.2 Hasil Analisis Model Isotherm Adsorpsi Pb^{2+} dengan Cangkang Kerang Darah

No.	Adsorben (cangkang kerang darah)	Langmuir			Freundlich		
		K_L	Q_m	R^2	n	K_F	R^2
1.	Granule; Pemanasan 110°C	1,167	47,619	0,752	3,226	21,727	0,837
2.	Granule; Pemanasan 550°C	0,031	50	0,793	0,579	0,432	0,811
3.	Granule; Aktivasi Asam	0,017	11,236	0,943	0,287	0,00007	0,906
4.	Powder; Pemanasan 110°C	0,135	55,556	0,359	1,198	5,408	0,638
5.	Powder; Pemanasan 550°C	0,048	125	0,582	0,738	1,496	0,893
6.	Powder; Aktivasi Asam	0,021	30,30	0,644	0,448	0,031	0,705

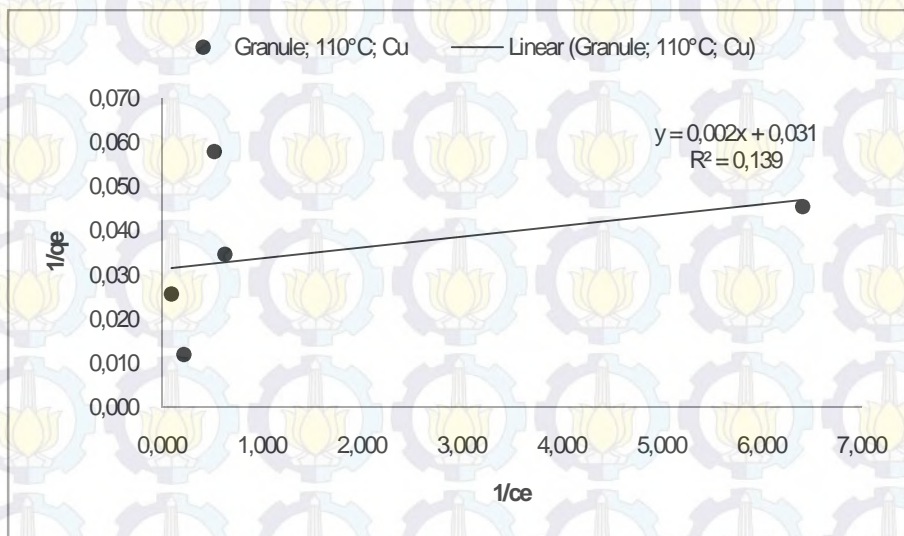
Hasil analisis data menunjukkan bahwa kemampuan maksimum (Q_m) cangkang kerang darah ditinjau dari model Langmuir cukup besar yaitu berkisar antara 30,30-125 mg/g. Nilai kapasitas adsorpsi Pb^{2+} adsorben cangkang kerang darah granule dengan pemanasan 550°C lebih tinggi dibandingkan dengan pemanasan 110°C dengan nilai berturut-turut sebesar 50 mg/g dan 47,619 mg/g. Nilai tersebut menunjukkan dengan adanya aktivasi dapat meningkatkan kapasitas maksimum (Q_m) dari cangkang kerang darah. Sedangkan jika dibandingkan berdasarkan ukuran butiran, cangkang kerang darah yang memiliki ukuran butiran semakin kecil dapat meningkatkan kapasitas maksimum (Q_m) penyerapan Pb^{2+} dari 47,619 mg/g menjadi 55,56 mg/g dengan perlakuan pemanasan 110°C. Nilai kapastias adsorpsi Pb^{2+} menggunakan adsorben cangkang kerang darah tersebut

lebih besar dibandingkan dengan penggunaan adsorben alternatif lain seperti ballast furnace sludge yang berkisar 64,17-79,87 mg/g dan ballast furnace slag sebesar 40 mg/g (Bhatnagar dan Minocha, 2006).

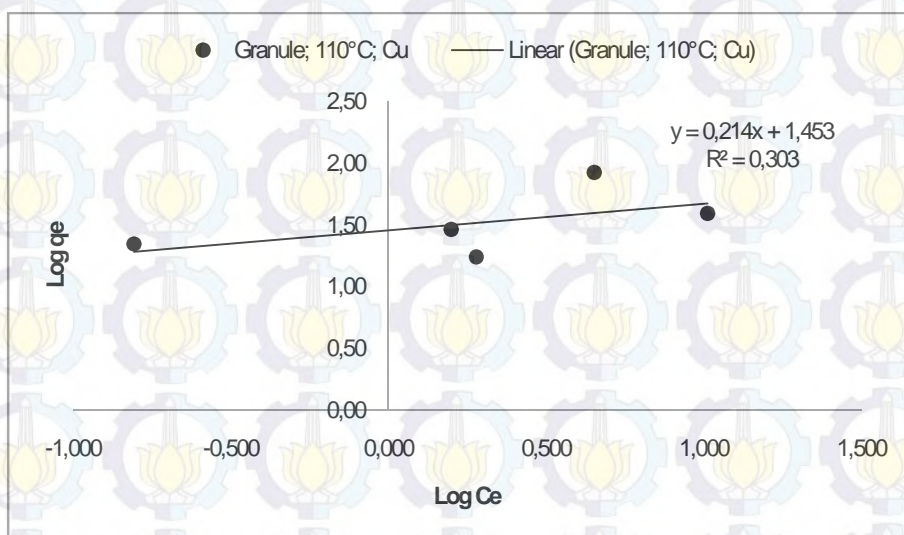
Adsorpsi Pb^{2+} dengan menggunakan adsorben cangkang kerang darah dari seluruh perlakuan lebih sesuai jika menggunakan model isotherm Freundlich jika ditinjau dari koefisien determinasi kecuali pada cangkang kerang darah dengan perlakuan granule aktivasi asam. Koefisien determinasi Freundlich lebih tinggi dibandingkan dengan koefisien determinasi Langmuir pada adsorben cangkang kerang darah granule pemanasan $110^{\circ}C$, $550^{\circ}C$, powder pemanasan $110^{\circ}C$, dan powder pemanasan $550^{\circ}C$, powder perendaman asam dengan nilai koefisien berturut-turut 0,837; 0,811; 0,638; 0,893; dan 0,705. Perlakuan tersebut menunjukkan bahwa adsorpsi Pb^{2+} dengan menggunakan cangkang kerang darah bersifat multi layer sesuai dengan model Freundlich. Sedangkan dengan perlakuan perendaman asam pada adsorben cangkang kerang granule menunjukkan isotherm mengacu pada model Langmuir dimana pada cangkang kerang darah terdapat permukaan yang terbatas dan adsorpsi bersifat monolayer.

4.2.2 Isotherm Adsorpsi Cu^{2+}

Hasil analisis pada cangkang kerang darah yang digunakan sebagai adsorben menunjukkan bahwa cangkang kerang darah dapat digunakan untuk adsorpsi Cu^{2+} . Upaya untuk mengetahui kemampuan adsorpsi cangkang kerang darah terhadap Cu^{2+} maka dilakukan analisis isotherm menggunakan model Langmuir dan Freundlich. Model Langmuir diperoleh dengan membuat grafik berdasarkan persamaan (4) yang diploting kedalam grafik untuk diketahui tren regresi dari data tersebut. Model Freundlich diperoleh dengan membuat grafik berdasarkan persamaan (2) yang diploting kedalam grafik untuk diketahui tren regresi dari data tersebut. Hasil plotting model Langmuir dan Freundlich pada cangkang kerang yang digunakan untuk adsorpsi Cu^{2+} seperti pada gambar 4.8 dan 4.9.



Gambar 4.8 Model Langmuir Adsorpsi Cu^{2+} dengan Adsorben Cangkang Kerang Darah Granule 110°C



Gambar 4.9 Model Freundlich Adsorpsi Cu^{2+} dengan Adsorben Cangkang Kerang Darah Granule 110°C

Persamaan linier yang dihasilkan dari plotting seperti gambar 4.8 dan 4.9 dilakukan analisis untuk mengetahui konstanta sesuai dengan masing-masing model yaitu Langmuir dan Freundlich. Dengan cara yang sama, dilakukan plotting dan analisis dari hasil adsorpsi Cu^{2+} menggunakan adsorben yang berbeda perlakuan seperti pada Lampiran 3 Hasil dari analisis persamaan tersebut menghasilkan data seperti tersaji pada tabel 4.3. Data pada tabel tersebut

menunjukkan bervariasinya konstanta pada masing-masing adsorben yang telah diberi perlakuan baik dari segi ukuran maupun dari segi aktivasi.

Tabel 4.3 Hasil Analisis Model Isotherm Adsorpsi Cu^{2+} dengan Cangkang Kerang Darah

No.	Adsorben (cangkang kerang darah)	Langmuir			Freundlich		
		K_L	Q_m	R^2	n	K_F	R^2
1.	Granule; Pemanasan 110°C	15,5	32,258	0,139	4,673	28,379	0,303
2.	Granule; Pemanasan 550°C	0,069	34,482	0,21	2,545	6,053	0,35
3.	Granule; Aktivasi Asam	0,008	6,803	0,834	0,373	0,0001	0,774
4.	Powder; Pemanasan 110°C	-0,211	11,765	0,272	-0,496	2317,3	0,35
5.	Powder; Pemanasan 550°C	0,070	38,462	0,655	2,882	7,551	0,672
6.	Powder; Aktivasi Asam	0,034	17,241	0,318	0,293	608,13	0,39

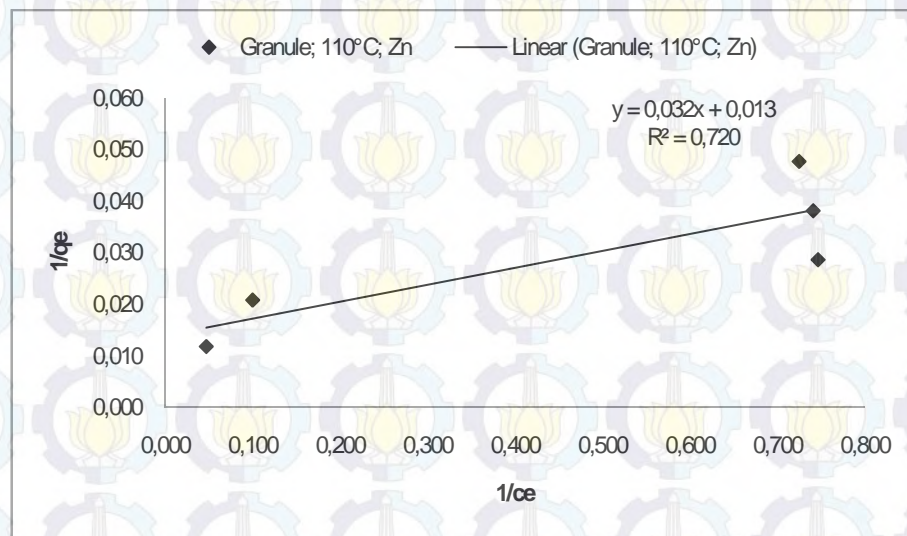
Hasil analisis data menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi maksimum (Q_m) cangkang kerang darah untuk mengadsorpsi Cu^{2+} ditinjau dari model Langmuir cukup besar yaitu berkisar antara 11,765-38,482 mg/g. Nilai kapasitas adsorpsi maksimum (Q_m) cangkang kerang darah terhadap Cu^{2+} dengan aktivasi 550°C memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan dengan cangkang kerang darah pemanasan 110°C. Pada adsorben dengan ukuran butiran granule dengan pemanasan 110°C memiliki kapasitas 32,258 mg/g menjadi 34,482 mg/g ketika adsorben cangkang kerang darah dilakukan perlakuan dengan pemanasan 550°C. Hal tersebut juga terjadi pada adsorben cangkang kerang darah berukuran powder dimana kapasitas adsorpsi maksimum meningkat dari 11,765 mg/g menjadi 38,462 mg/g. Hasil tersebut memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan

penelitian Wu et al., (2014) menggunakan cangkang tiram yang menghasilkan kapasitas adsorpsi antara 2,01-8,22 mg/g. Penelitian Dahiya et al., (2007) menggunakan arca shell mencapai $17,64 \pm 0,31$ mg/g.

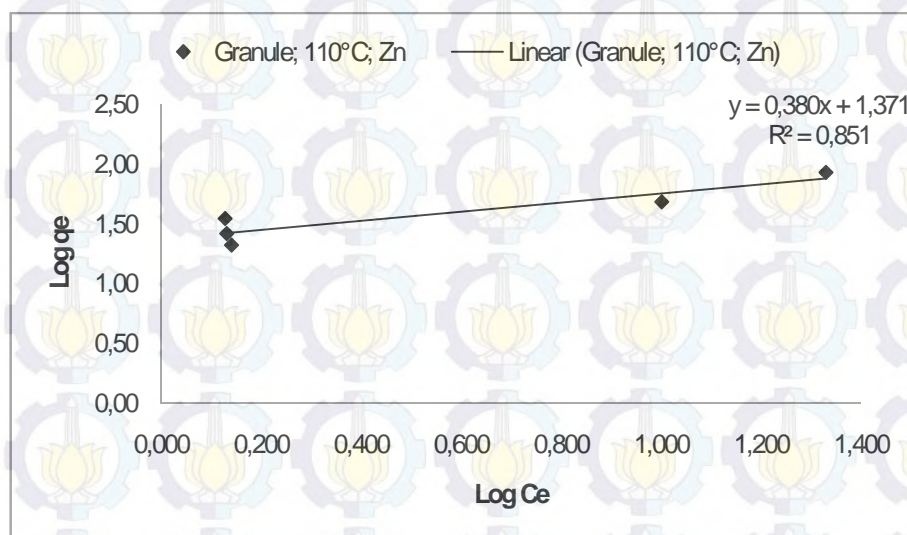
Ditinjau dari koefisien determinasi, penggunaan model Freundlich pada adsorpsi Cu^{2+} menggunakan cangkang kerang darah secara keseluruhan memiliki nilai yang lebih tinggi yaitu berkisar antara 0,303-0,672 dibandingkan dengan model Langmuir berkisar antara 0,139-0,655. Hal tersebut menunjukkan bahwa penggunaan cangkang kerang darah sebagai adsorben Cu^{2+} memiliki kecenderungan seperti model Freundlich dimana adsorpsi yang terjadi bersifat multi layer. Tetapi terdapat satu perlakuan yaitu adsorben granule perendaman asam memiliki nilai koefisien determinasi model Langmuir lebih besar yaitu 0,834 dibandingkan dengan koefisien Freundlich sebesar 0,774. Perlakuan asam dapat mengakibatkan permukaan adsorben cangkang kerang darah menjadi lebih homogen tidak terdapat banyak rongga menyebabkan permukaan untuk adsorpsi menjadi terbatas dan bersifat monolayer.

4.2.3 Isotherm Adsorpsi Zn^{2+}

Hasil analisis pada cangkang kerang darah yang digunakan sebagai adsorben menunjukkan bahwa cangkang kerang darah dapat digunakan untuk adsorpsi Zn^{2+} . Upaya untuk mengetahui kemampuan adsorpsi cangkang kerang darah terhadap Zn^{2+} maka dilakukan analisis isotherm menggunakan model Langmuir dan Freundlich. Model Langmuir diperoleh dengan membuat grafik berdasarkan persamaan (4) yang diploting kedalam grafik untuk diketahui tren regresi dari data tersebut. Model Freundlich diperoleh dengan membuat grafik berdasarkan persamaan (2) yang diploting kedalam grafik untuk diketahui tren regresi dari data tersebut. Hasil ploting model Langmuir dan Freundlich pada cangkang kerang yang digunakan untuk adsorpsi Zn^{2+} seperti pada gambar 4.10 dan 4.11.



Gambar 4.10 Model Langmuir Adsorpsi Zn^{2+} dengan Adsorben Cangkang Kerang Darah Granule 110°C



Gambar 4.11 Model Freundlich Adsorpsi Zn^{2+} dengan Adsorben Cangkang Kerang Darah Granule 110°C

Persamaan linier yang dihasilkan dari plotting seperti gambar 4.8 dan 4.9 dilakukan analisis untuk mengetahui konstanta sesuai dengan masing-masing model yaitu Langmuir dan Freundlich. Dengan cara yang sama, dilakukan plotting dan analisis dari hasil adsorpsi Zn^{2+} menggunakan adsorben yang berbeda perlakuan seperti pada Lampiran 3 Hasil dari analisis persamaan tersebut menghasilkan data seperti tersaji pada tabel 4.4. Data pada tabel tersebut

menunjukkan bervariasinya konstanta pada masing-masing adsorben yang telah diberi perlakuan baik dari segi ukuran maupun dari segi aktivasi.

Tabel 4.4 Hasil Analisis Model Isotherm Adsorpsi Zn^{2+} dengan Cangkang Kerang Darah

No.	Adsorben (cangkang kerang darah)	Langmuir			Freundlich		
		K_L	Q_m	R^2	n	K_F	R^2
1.	Granule; Pemanasan 110°C	0,406	76,92	0,72	2,570	23,496	0,851
2.	Granule; Pemanasan 550°C	0,004	200	0,866	0,806	0,414	0,884
3.	Granule; Aktivasi Asam	0,015	56	0,553	1,309	1,253	0,634
4.	Powder; Pemanasan 110°C	0,037	11,364	0,765	0,265	2249,05	0,788
5.	Powder; Pemanasan 550°C	0,029	66,667	0,601	1,261	2,317	0,603
6.	Powder; Aktivasi Asam	0,018	35,714	0,825	0,510	17,498	0,71

Hasil analisis data menunjukkan bahwa kemampuan maksimum (Q_m) cangkang kerang darah untuk mengadsorpsi Zn^{2+} ditinjau dari model Langmuir cukup besar yaitu berkisar antara 11,364-200 mg/g. Kapasitas cangkang kerang darah dalam adsorpsi Cu^{2+} menunjukkan adanya peningkatan antara adsorben cangkang kerang darah granule dengan pemanasan 110°C dengan pemanasan 550°C dengan Q_m 76,92 mg/g menjadi 200 mg/g. Hasil tersebut lebih baik jika dibandingkan dengan penggunaan limbah alga untuk adsorpsi Zn^{2+} yang hanya mencapai $7,1 \pm 0,2$ (Febrianto et al., 2009).

Adsorpsi Zn^{2+} dengan menggunakan adsorben cangkang kerang darah ditinjau dari koefisien determinasi. Penggunaan model Freundlich pada adsorpsi Zn^{2+} menggunakan cangkang kerang darah memiliki nilai yang lebih tinggi yaitu berkisar antara 0,603-0,884 dibandingkan dengan model Langmuir. Hal tersebut menunjukkan bahwa penggunaan cangkang kerang darah sebagai adsorben Zn^{2+}

bersifat multi layer sesuai dengan model Freundlich. Tetapi pada perlakuan adsorben cangkang kerang darah powder dengan perendaman asam menunjukkan bahwa cangkang kerang darah lebih cenderung menggunakan model Langmuir dengan koefisien determinasi Langmuir sebesar 0,825 dibandingkan dengan Freundlich sebesar 0,71. Hal tersebut menunjukkan bahwa perendaman asam dapat merubah permukaan cangkang kerang darah menjadi lebih homogen dan adsorpsi lebih cenderung mengacu pada model Langmuir yang bersifat monolayer.

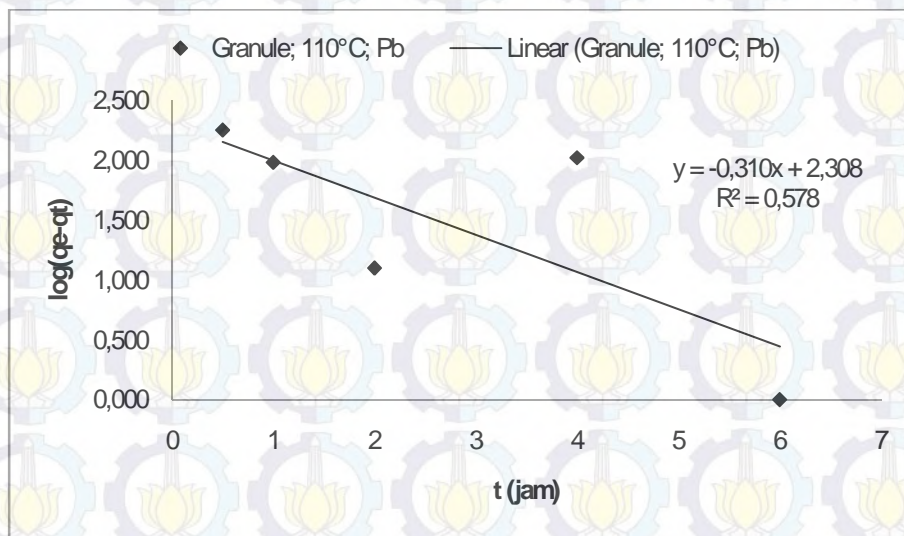
4.3 Kinetika adsorpsi Pb^{2+} , Cu^{2+} , dan Zn^{2+}

Kinetika adsorpsi yaitu kajian yang digunakan untuk mengidentifikasi bagaimana mekanisme yang terjadi pada suatu adsorben. Kajian adsorpsi yang dilakukan yaitu dengan menggunakan menggunakan pseudo-first orde model dan pseudo-second orde model. Persamaan-persamaan yang digunakan mengacu pada persamaan (5) dan (6). Proses adsorpsi oleh adsorben cangkang kerang darah dilakukan berdasar variasi ukuran butiran (Granule: 0,14-0,29mm dan Powder: <0,074mm) dan aktivasi (pemanasan 110°C, pemanasan 550°C, dan perendaman H_2SO_4 0,5M) dari masing-masing adsorben. Percobaan adsorpsi yang bertujuan untuk mengetahui kinetika adsorpsi dari cangkang kerang darah dilakukan dengan melakukan percobaan *batch*. Percobaan *batch* dilakukan dengan memberikan dosis (massa) adsorben 0,3 gram didapatkan dari hasil percobaan isotherm didapatkan masa optimum 0,3 gram. Percobaan *batch* tersebut dilakukan dengan variasi waktu 0,5 jam; 1 jam; 2 jam; 4 jam; dan 6 jam dengan dilakukan pengocokan menggunakan rotary shaker. Hasil percobaan masing-masing jenis logam dilakukan analisis dengan menggunakan AAS untuk mengetahui kandungan Pb^{2+} , Cu^{2+} , dan Zn^{2+} pada akhir percobaan. Hasil analisis tersebut yang akan digunakan untuk mengetahui kinetika adsorpsi masing-masing logam.

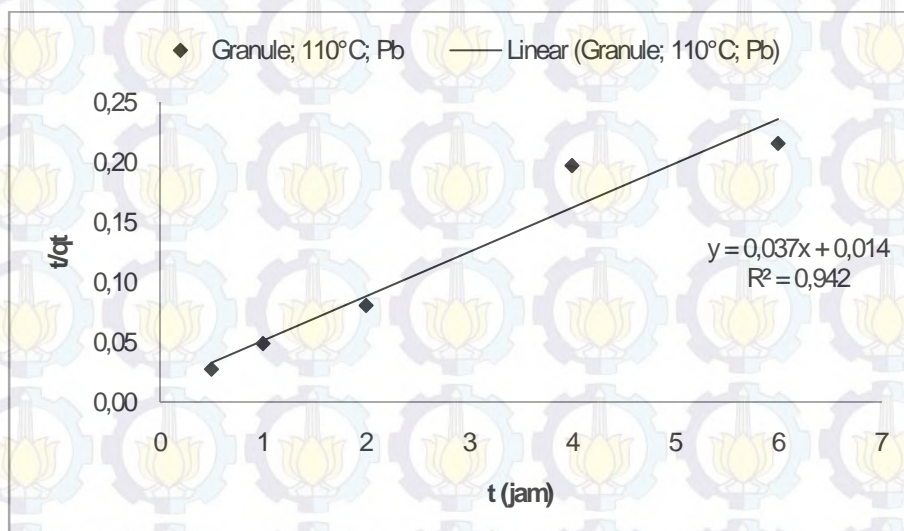
4.3.1 Kinetika Adsorpsi Pb^{2+}

Hasil analisa kandungan Pb^{2+} dari masing-masing perlakuan dengan perbedaan waktu pengadukan merupakan dasar yang digunakan untuk mengetahui kinetika adsorpsi Pb^{2+} dengan menggunakan adsorben cangkang kerang darah. Penghitungan kinetika adsorpsi dilakukan dengan menggunakan pseudo-first orde

model seperti pada persamaan (5) dan pseudo-second orde model seperti pada persamaan (6). Persamaan (5) dan (6) tersebut digunakan sebagai persamaan dasar untuk mengetahui trend dari data yang dihasilkan. Hasil olahan data dilakukan plotting kedalam grafik seperti pada gambar 4.12 untuk pseudo-first orde model dan gambar 4.13 untuk pseudo-second orde model.



Gambar 4.12 Kinetika Adsorpsi Pb^{2+} Pseudo-First Orde Model dengan Adsorben Cangkang Kerang Darah Granule 110°C



Gambar 4.13 Kinetika Adsorpsi Pb^{2+} Pseudo-Second Orde Model dengan Adsorben Cangkang Kerang Darah Granule 110°C

Gambar 4.12 mengasikkan suatu persamaan linier yang dapat digunakan untuk mengetahui konstanta dari pseudo-first orde yaitu K_1 yang merepresentasikan konstanta kecepatan adsorpsi pseudo-first orde (1/menit) (Cochrane et al., 2006; Danarto; 2007). Penentuan K_1 dilakukan dengan membandingkan antara persamaan linear dengan persamaan (5). Sedangkan pada Gambar 4.13 persamaan linear yang didapat dapat digunakan untuk mengetahui konstanta dari pseudo-second orde yaitu K_2 yang merepresentasikan konstanta kecepatan adsorpsi pseudo-second orde (g/mg.menit) (Danarto; 2007; Febrianto et al., 2009). Penentuan K_2 tersebut dilakukan dengan membandingkan persamaan linear yang didapatkan dengan persamaan (6). Analisis tersebut dilakukan terhadap semua perlakuan pada adsorben dan menghasilkan data seperti pada Lampiran 4. Hasil analisis tersebut menghasilkan data terkait kinetika adsorpsi seperti tersaji pada Tabel 4.5.

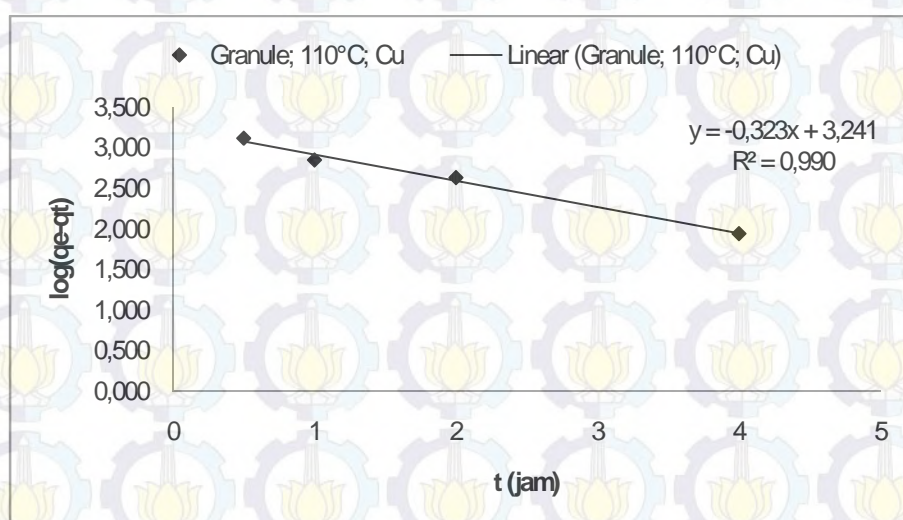
Tabel 4.5 Hasil Analisis Model Kinetika Adsorpsi Pb^{2+} dengan Cangkang Kerang Darah

No.	Adsorben (cangkang kerang darah)	Pseudo-first Order			Pseudo-second Order		
		q_e	k_1	R^2	q_e	K_2	R^2
1.	Granule; Pemanasan 110°C	203,236	0,714	0,578	27,027	0,098	0,942
2.	Granule; Pemanasan 550°C	0,7603	-0,032	0,004	24,390	18,678	0,999
3.	Granule; Aktivasi Asam	103,27	0,089	0,133	20,000	0,357	0,997
4.	Powder; Pemanasan 110°C	45,290	0,605	0,328	28,571	0,245	0,992
5.	Powder; Pemanasan 550°C	8,016	-0,135	0,036	25,000	0,800	0,996
6.	Powder; Aktivasi Asam	7,211	-0,297	0,399	25,000	-1,600	0,999

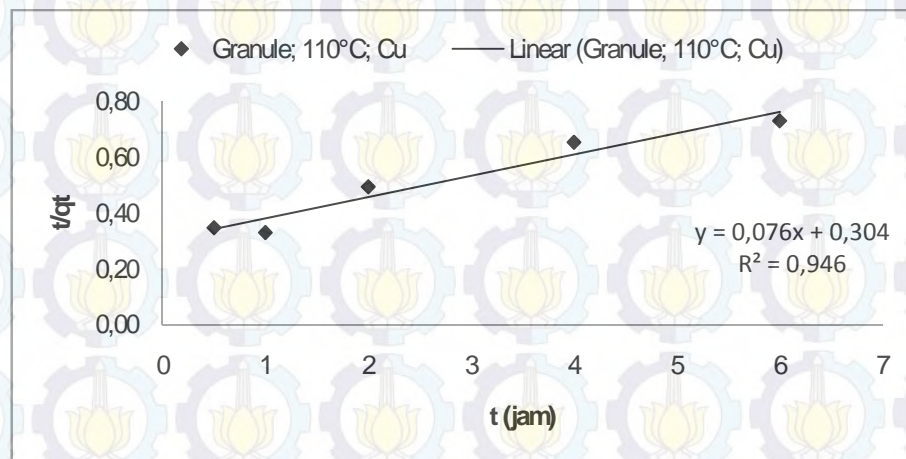
Hasil pada tabel 4.5 menunjukkan bahwa keseluruhan perlakuan yang diberikan pada adsorben cangkang kerang darah menunjukkan bahwa model kinetika yang diikuti yaitu model pseudo-second order dengan koefisien korelasi (R^2) antara 0,942-0,999. Hal tersebut menunjukkan bahwa adsorpsi yang terjadi tidak hanya secara fisik melainkan terdapat adsorpsi kimia (Febrianto et al., 2009). Perlakuan yang dilakukan secara keseluruhan menunjukkan bahwa kecenderungan adanya adsorpsi kimia dapat dikarenakan karena koefisien selektivitas Pb^{2+} yang lebih tinggi dibandingkan Ca^{2+} (Reynold and Richard, 1996) dimana merupakan penyusun utama cangkang kerang darah.

4.3.2 Kinetika Adsorpsi Cu^{2+}

Hasil analisa kandungan Cu^{2+} dari masing-masing perlakuan dengan perbedaan waktu pengadukan merupakan dasar yang digunakan untuk mengetahui kinetika adsorpsi Cu^{2+} dengan menggunakan adsorben cangkang kerang darah. Penghitungan kinetika adsorpsi dilakukan dengan menggunakan pseudo-first orde model seperti pada persamaan (5) dan pseudo-second orde model seperti pada persamaan (6). Persamaan (5) dan (6) tersebut digunakan sebagai persamaan dasar untuk mengetahui trend dari data yang dihasilkan. Hasil olahan data adsorpsi Cu^{2+} dilakukan plotting kedalam grafik seperti pada gambar 4.14 untuk pseudo-first orde model dan gambar 4.15 untuk pseudo-second orde model.



Gambar 4.14 Kinetika Adsorpsi Cu^{2+} Pseudo-First Orde Model dengan Adsorben Cangkang Kerang Darah Granule 110°C



Gambar 4.15 Kinetika Adsorpsi Cu^{2+} Pseudo-Second Orde Model dengan Adsorben Cangkang Kerang Darah Granule 110°C

Hasil plotting pada grafik yang tersaji pada gambar 4.15 menghasilkan suatu persamaan linear yang digunakan untuk menentukan beberapa konstanta pada kinetika adsorpsi Cu^{2+} dengan menggunakan cangkang kerang darah. Hasil yang didapatkan dari persamaan-persamaan tersebut seperti pada tabel 4.6 dan Lampiran 4.

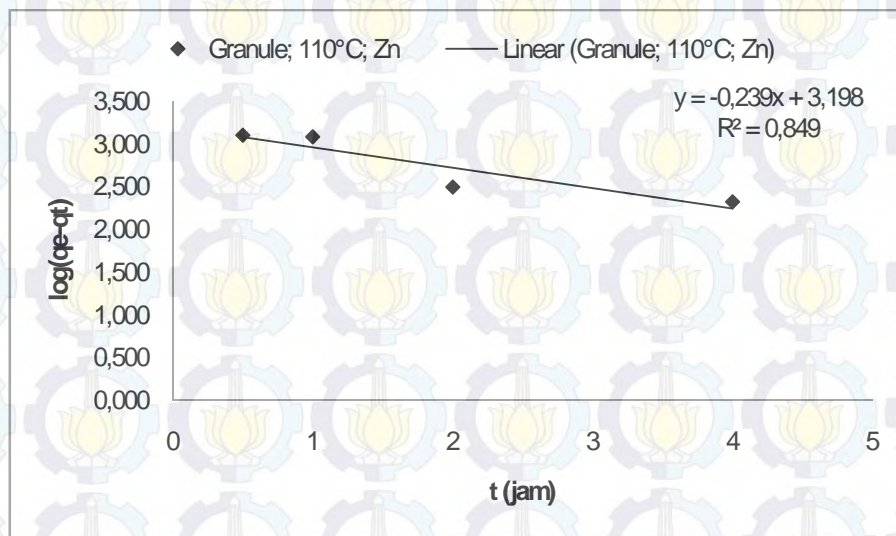
Tabel 4.6 Hasil Analisis Model Kinetika Adsorpsi Cu^{2+} dengan Cangkang Kerang Darah

No.	Adsorben (cangkang kerang darah)	Pseudo-first Order			Pseudo-second Order		
		q_e	k_1	R^2	q_e	K_2	R^2
1.	Granule; Pemanasan 110°C	1741,8	0,744	0,990	35,714	0,009	0,954
2.	Granule; Pemanasan 550°C	386,9	0,946	0,795	24,39	0,070	0,961
3.	Granule; Aktivasi Asam	88,512	0,866	0,874	9,709	0,053	0,740
4.	Powder; Pemanasan 110°C	2863,1	1,639	0,955	50,00	0,006	0,502
5.	Powder; Pemanasan 550°C	85,114	0,435	0,650	23,256	0,264	0,998
6.	Powder; Aktivasi Asam	27,733	0,971	0,879	27,778	0,324	0,999

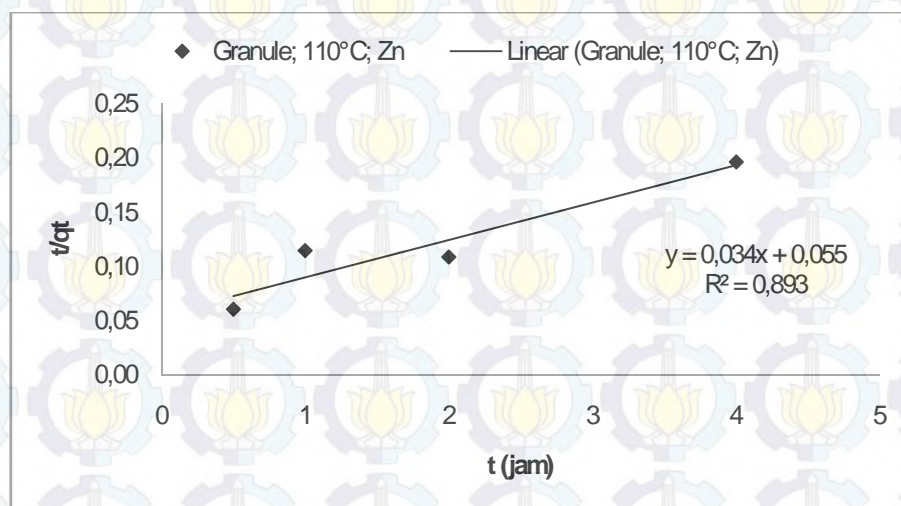
Hasil perhitungan konstanta dan berdasarkan dengan persamaan linear yang didapatkan dari plotting pada grafik menunjukkan pada adsorpsi Cu^{2+} menggunakan cangkang kerang darah mengacu pada kedua jenis model kinetika. Perlakuan adsorben granule pemanasan 110°C , granule aktivasi asam, dan powder pemanasan 110°C mengacu pada model pseudo-first order karena koefisien determinasi dari perlakuan tersebut lebih besar dibandingkan dengan koefisien determinasi pada model pseudo-second order. Hasil tersebut menunjukkan pada proses adsorpsi Cu^{2+} dengan adsorben tersebut lebih cenderung pada proses adsorpsi fisik kondisi tersebut dapat dikarenakan kemampuan interaksi ion Cu^{2+} yang lemah terhadap adsorben yang tersusun dari CaCO_3 sehingga adsorpsi hanya bersifat fisik. Sedangkan pada perlakuan yang lain mengacu model pseudo-second order dengan dilihat berdasar koefisien determinasi (R^2) lebih besar terjadi pada perlakuan adsorben granule pemanasan 550°C , powder 550°C dan powder aktivasi asam dimana R^2 model kinetika pseudo-second order secara berturut-turut sebesar 0,961; 0,998; dan 0,999.

4.3.3 Kinetika Adsorpsi Zn^{2+}

Hasil analisa kandungan Zn^{2+} dari masing-masing perlakuan dengan perbedaan waktu pengadukan merupakan dasar yang digunakan untuk mengetahui kinetika adsorpsi Zn^{2+} dengan menggunakan adsorben cangkang kerang darah. Penghitungan kinetika adsorpsi dilakukan dengan menggunakan pseudo-first orde model seperti pada persamaan (5) dan pseudo-second orde model seperti pada persamaan (6). Persamaan (5) dan (6) tersebut digunakan sebagai persamaan dasar untuk mengetahui trend dari data yang dihasilkan. Hasil olahan data adsorpsi Cu^{2+} dilakukan plotting kedalam grafik seperti pada gambar 4.16 untuk pseudo-first orde model dan gambar 4.17 untuk pseudo-second orde model. Plotting yang telah dilakukan untuk mengetahui kinetika adsorpsi cangkang kerang darah terhadap Zn^{2+} menghasilkan persamaan linear yang dapat digunakan untuk mengetahui jenis kinetika yang dianut. Berdasarkan hal tersebut didapatkan data seperti tersaji pada tabel 4.7.



Gambar 4.16 Kinetika Adsorpsi Zn^{2+} Pseudo-First Orde Model dengan Adsorben Cangkang Kerang Darah Granule 110°C



Gambar 4.17 Kinetika Adsorpsi Zn^{2+} Pseudo-Second Orde Model dengan Adsorben Cangkang Kerang Darah Granule 110°C

Hasil pada tabel 4.7 menunjukkan bahwa pada penggunaan cangkang kerang darah untuk adsorpsi Zn^{2+} terdapat beberapa perbedaan yaitu pada adsorben cangkang kerang darah dengan bentuk granule aktivasi asam dan powder pemanasan 110°C mengacu pada model kinetika pseudo-first order dengan R^2 mencapai 0,986 dan 0,888. Sedangkan perlakuan lain mengacu pada model kinetika Pseudo-second order dengan R^2 0,893-0,993 yang berarti bahwa adsorpsi terjadi secara kimia (Chong et al., 2009).

Tabel 4.7 Hasil Analisis Model Kinetika Adsorpsi Zn^{2+} dengan Cangkang Kerang Darah

No.	Adsorben (cangkang kerang darah)	Pseudo-first Order			Pseudo-second Order		
		q _e	k ₁	R ²	q _e	K ₂	R ²
1.	Granule; Pemanasan 110°C	1577,61	0,55	0,849	29,412	0,021	0,893
2.	Granule; Pemanasan 550°C	90,157	1,204	0,789	20,00	0,179	0,993
3.	Granule; Aktivasi Asam	714,496	0,737	0,986	333,3	0,00002	0,004
4.	Powder; Pemanasan 110°C	1016,2	0,502	0,888	23,256	0,026	0,816
5.	Powder; Pemanasan 550°C	15,749	0,361	0,367	22,222	0,253	0,992
6.	Powder; Aktivasi Asam	521,929	0,711	0,929	24,390	0,070	0,965

4.4 Kemampuan adsorpsi menggunakan adsorben cangkang kerang darah (*Anadara granosa*)

Kemampuan adsorpsi meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi awal adsorbat hingga mencapai kondisi saturasi (Wu, et al., 2014). Peningkatan konsentrasi adsorbat menjadikan semakin besar pula interaksi adsorbat dengan adsorben tetapi hal tersebut juga dibatasi dengan kemampuan situs aktif adsorben yang terbatas sehingga peningkatan kemampuan adsorpsi dapat terjadi dengan batasan-batasan konsentrasi tertentu. Data yang didapatkan pada penelitian ini menunjukkan bahwa konsentrasi awal pada masing-masing sampel berkisar antara 85,74-106,20 mg/l seperti pada Lampiran 3. Data konsentrasi awal memiliki standar deviasi sebesar 6,7 mg/l, dengan data tersebut diharapkan tidak terdapat pengaruh terhadap kemampuan adsorpsi pada cangkang kerang darah. Rentang konsentrasi tersebut menurut beberapa penelitian yang telah dilakukan Chong , et al., (2013) menunjukkan bahwa pada rentang 50-100 mg/l tidak menunjukkan

perubahan signifikan terhadap kemampuan *oil palm shell* dalam adsorpsi Cu^{2+} . Penelitian Cochrane, et al., (2006) menunjukkan penggunaan cangkang kepiting, macroalga, dan karbon aktif memiliki kemampuan adsorpsi yang sama ketika digunakan untuk adsorpsi Cu^{2+} pada konsentrasi hingga 100 mg/l. Penelitian yang telah dilakukan oleh Diantariani (2010) menunjukkan pada konsentrasi 50-100 mg/l kemampuan adsorpsi Cr^{3+} pada batu padas meningkat dan kemudian konstan hingga konsentrasi 300 mg/l. Hal tersebut menunjukkan konsentrasi awal yang didapatkan tidak mempengaruhi kemampuan adsorpsi pada cangkang kerang darah.

Analisis kemampuan adsorpsi cangkang kerang darah dilakukan berdasar kapasitas adsorpsi maksimum yang dapat dihasilkan dari masing-masing adsorben yang telah diperlakukan. Perlakuan dengan perbedaan ukuran butiran dan aktivasi diharapkan dapat meningkatkan kemampuan adsorben cangkang kerang darah dalam adsorpsi. Berdasar kapasitas adsorpsi maksimum maka didapatkan hasil seperti pada tabel 4.8.

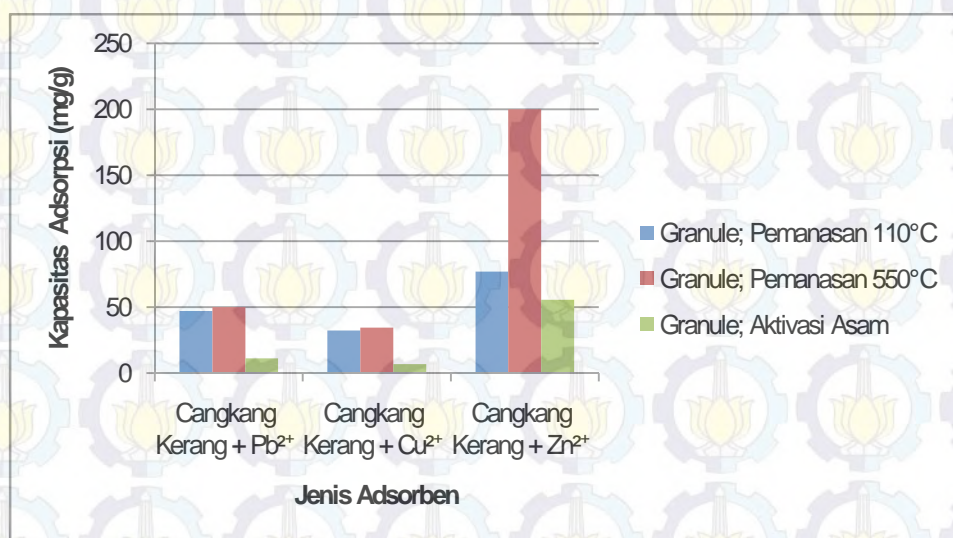
Tabel 4.8 Kapasitas Adsorpsi Cangkang Kerang Darah Berdasarkan Kapasitas Adsorpsi Maksimum Langmuir

No	Adsorben (cangkang kerang darah)	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)		
		Cangkang Kerang + Pb^{2+}	Cangkang Kerang + Cu^{2+}	Cangkang Kerang + Zn^{2+}
1	Granule; Pemanasan 110°C	47,16	32,26	76,92
2	Granule; Pemanasan 550°C	50,00	34,48	200,00
3	Granule; Aktivasi Asam	11,24	6,80	55,56
4	Powder; Pemanasan 110°C	55,56	11,77	11,36
5	Powder; Pemanasan 550°C	125,00	38,46	66,67
6	Powder; Aktivasi Asam	30,30	17,24	35,71

Hasil tersebut menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi maksimum dari masing-masing jenis perlakuan dan adsorbat berbeda-beda. Kapasitas adsorpsi maksimum cangkang kerang darah dalam mengadsorpsi Pb^{2+} berkisar antara 30,30-125 mg/g. Kapasitas adsorpsi maksimum cangkang kerang darah dalam mengadsorpsi Cu^{2+} berkisar antara 6,80-38,462 mg/g. Kapasitas adsorpsi maksimum cangkang kerang darah dalam mengadsorpsi Zn^{2+} berkisar antara 11,364-200 mg/g. Kapasitas tersebut merupakan kapasitas adsorpsi maksimum

spesifik pada ion logam Pb^{2+} , Cu^{2+} , atau Zn^{2+} dimana dalam percobaan tidak terdapat ion logam lain yang mengganggu. Faktor adanya ion-ion lain dalam proses adsorpsi merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kemampuan adsorpsi suatu adsorben. Penelitian Dahiya et al. (2008) menunjukkan pengaruh penambahan ion lain seperti Na, Ca, dan K pada adsorpsi logam berat dapat menurunkan kemampuan adsorpsi logam berat antara 3%-62,6%.

Faktor lain yang mempengaruhi adsorpsi tentang perlakuan terhadap adsorben. Beberapa penelitian terkait dengan modifikasi dengan memberikan perlakuan terhadap adsorben dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi seperti penelitian Bansode et al., (2003) kemampuan adsorben meningkat lebih dari 0,2% dalam mengadsorpsi Cu^{2+} ketika diberikan perlakuan dengan pemanasan uap. Penelitian yang dilakukan menggunakan adsorben cangkang kerang darah berdasarkan jenis perlakuan aktivasinya, kapasitas adsorpsi maksimum dari cangkang kerang darah seperti pada gambar 4.13.



Gambar 4.18 Kapasitas Adsorpsi Cangkang Kerang Darah berdasar Jenis Aktivasi

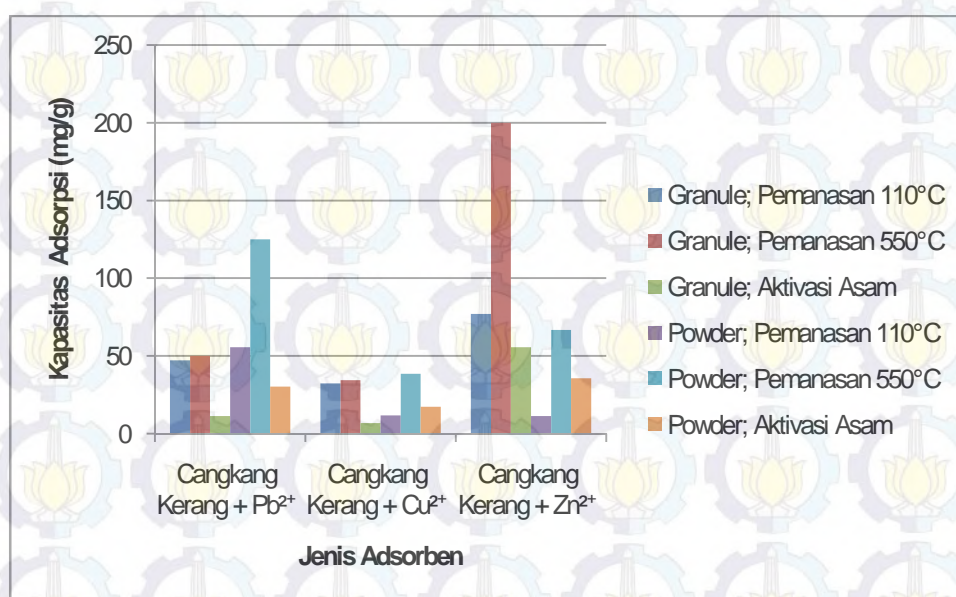
Grafik pada Gambar 4.18 menunjukkan bahwa dengan adanya aktivasi dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi dari cangkang kerang darah. Kapasitas adsorpsi cangkang kerang darah granule dengan adanya aktivasi pemanasan dari 110°C menjadi 550°C dapat meningkat sebesar 30,01% dari 38,46 mg/g menjadi 50 mg/g dalam adsorpsi Pb^{2+} . Hal yang sama terjadi pada adsorbat yang lain

seperti pada adsorpsi Cu^{2+} meningkat dari 32,258 mg/g menjadi 34,4982 mg/g atau sebesar 6,89%. Kapasitas adsorpsi Zn^{2+} juga mengalami peningkatan dengan adanya pemanasan 550°C dari 76,92 mg/g menjadi 200 mg/g. Aktivasi pemanasan dengan suhu mencapai 550°C dilakukan untuk memperbesar permukaan cangkang kerang darah yang digunakan sebagai adsorben sehingga dapat menyerap kandungan logam berat yang lebih banyak. Penelitian Monash dan Pugazhenthi (2010) menunjukkan pada proses kalsinasi adsorben MCM-41 pada 550°C paling tinggi dibandingkan dengan aktivasi panas lainnya selain itu pemanasan dengan suhu 550°C pada cangkang kerang darah dapat menghilangkan pengotor bahan organik yang terdapat pada cangkang kerang darah.

Aktivasi asam dilakukan pada adsorben cangkang kerang darah menghasilkan penurunan kapasitas adsorpsi seperti pada Gambar 4.18. Kapasitas adsorpsi Pb^{2+} menurun dari 47,16 mg/g menjadi 11,24 mg/g hal tersebut juga terjadi pada kapasitas adsorpsi Cu^{2+} dimana menurun dari 32,258 mg/g menjadi 6,80 mg/g. Kapasitas adsorpsi cangkang kerang darah terhadap Zn^{2+} juga mengalami penurunan ketika adsorben dilakukan aktivasi menggunakan asam yang semula 76,92 mg/g menjadi 55,556 mg/g. Hal tersebut menunjukkan bahwa perlakuan adsorben cangkang kerang darah dengan menggunakan aktivasi asam tidak dapat meningkatkan kemampuan adsorben. Aktivasi asam akan menglarutkan struktur cangkang kerang darah yang semula mempunyai permukaan tidak beraturan menjadi lebih halus seperti gambar 4.2. Permukaan adsorpsi yang halus akan mengurangi kemampuan adsorben dalam menyerap ion logam.

Selain berdasarkan aktivasi perbandingan kapasitas adsorpsi juga dapat dilakukan dengan membandingkan berdasarkan ukuran butiran dan jenis aktivasinya seperti pada gambar 4.14. Hasil menunjukkan perlakuan dengan ukuran butiran pada adsorpsi Pb^{2+} oleh cangkang kerang darah dengan perbedaan ukuran terdapat peningkatan kapasitas ketika ukuran adsorben menjadi lebih kecil. Peningkatan kapasitas adsorpsi Pb^{2+} dengan menggunakan granule pemanasan 110°C sebesar 47,16 mg/g meningkat menjadi 55,56 mg/g dengan adsorben powder pemanasan 110°C . Hal yang sama juga terjadi pada adsorpsi Pb^{2+} dengan menggunakan adsorben granule pemanasan 550°C sebesar 50 mg/g menjadi 125

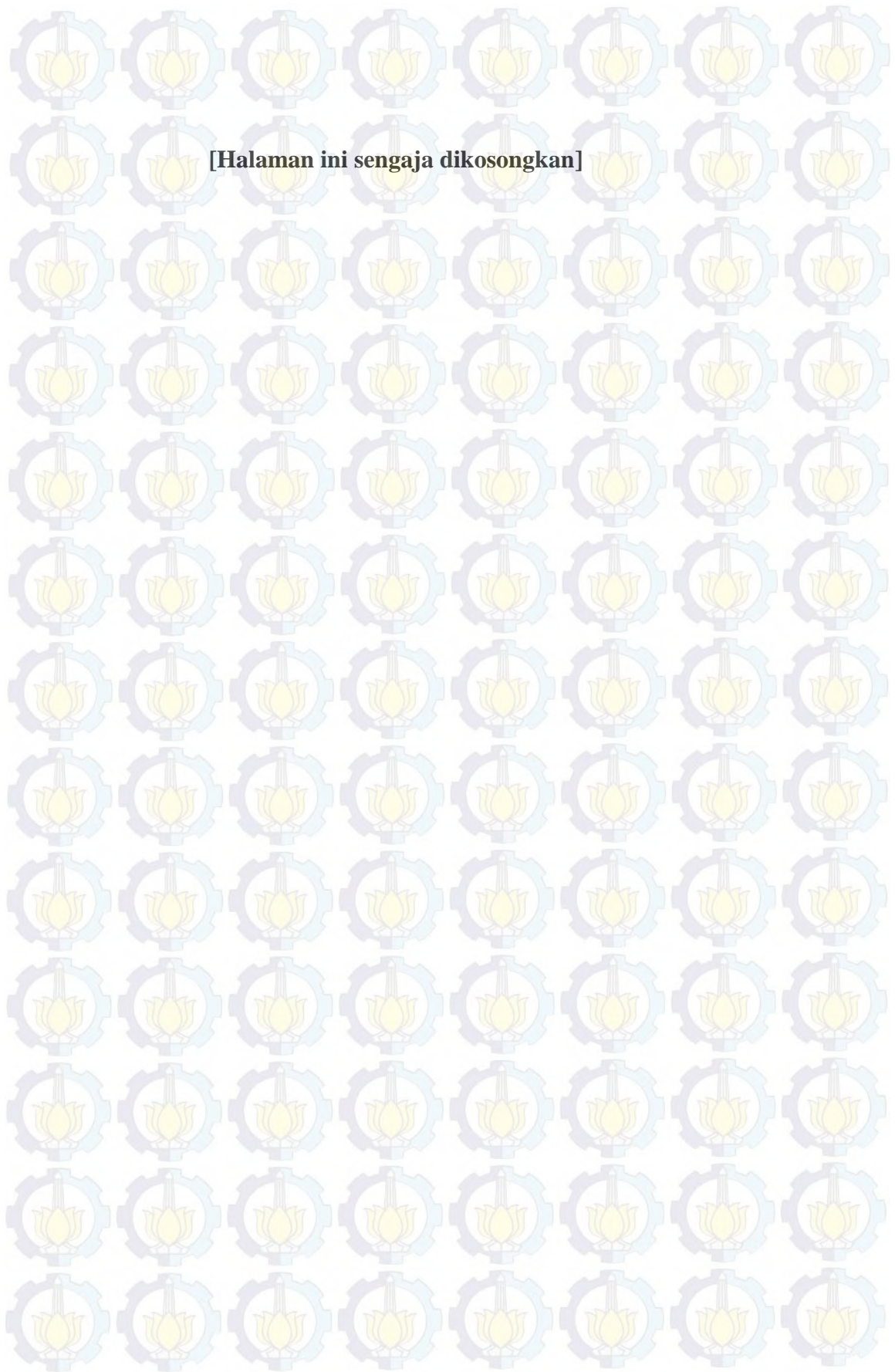
mg/g dengan adsorben powder pemanasan 550°C. Penggunaan adsorben granule aktivasi asam untuk adsorpsi Pb^{2+} juga semakin meningkat dengan semakin kecilnya ukuran butiran dimana terdapat peningkatan dari 11,24 mg/g menjadi 30,30 mg/g menggunakan powder aktivasi asam. Hal tersebut dapat dikarenakan semakin besarnya ukuran partikel maka semakin sedikit adsorbat yang diserap karena semakin sedikitnya permukaan yang digunakan sebagai tempat untuk adsorpsi (Chong et al., 2013) selain itu pada permukaan adsorben yang besar juga memiliki resistensi yang besar terhadap difusi ion-ion (Gulnaz et al., 2011).



Gambar 4.19 Perbandingan Kapasitas Adsorpsi Cangkang Kerang Darah

Hasil berbeda ditunjukkan pada adsorpsi Cu^{2+} dan Zn^{2+} dimana pada perlakuan ukuran butiran semakin kecil maka kemampuan adsorpsi yang didapatkan semakin kecil. Hal tersebut dapat dikarenakan pada adsorpsi cangkang kerang darah yang terjadi tidak hanya adsorpsi fisik melainkan juga terdapat adsorpsi kimia. Perlakuan ukuran butiran berpengaruh pada luas permukaan yang bersifat fisik, sedangkan pada adsorpsi kimia yang terdapat pada cangkang kerang darah dapat dipengaruhi oleh koefisien selektivitas masing-masing ion. Selain itu pada adsorpsi menggunakan cangkang kerang darah yang mengandung kalsium dapat mengganggu proses adsorpsi ion Cu^{2+} dan Zn^{2+} . Dimana selektivitas Cu^{2+} dan Zn^{2+} lebih kecil dari Ca^{2+} (Reynold and Richard, 1996) sehingga dalam proses

adsorpsi kimia dimana situs aktif yang dapat berinteraksi dengan Cu^{2+} dan Zn^{2+} dapat terganggu. Penelitian Dahiya, et al., (2008) juga menunjukkan pada adsorpsi Cu^{2+} menggunakan *arca shell* kemampuan adsorpsi menurun dari 88,2% menjadi 38,6% ketika terdapat ion pengganggu kalsium dan magnesium.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Hasil karakterisasi cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) sebelum digunakan sebagai adsorben memiliki komposisi karbon (C), oksigen (O), kalsium (Ca), sodium (Na), setelah digunakan sebagai adsorben didapatkan hasil bahwa dalam cangkang kerang darah tersebut terdapat kandungan timbal (Pb), tembaga (Cu), dan Seng (Zn) yang mengindikasikan bahwa cangkang kerang darah dapat digunakan sebagai adsorben.
2. Model isotherm cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) dalam adsorpsi Pb^{2+} seluruh perlakuan memiliki kecenderungan sesuai dengan model isotherm Freundlich dengan R^2 0,638-0,893 kecuali perlakuan granule aktivasi asam memiliki kecenderungan sesuai dengan model isotherm Langmuir dengan R^2 0,943. Model isotherm Cu^{2+} seluruh perlakuan memiliki kecenderungan sesuai dengan model isotherm Freundlich dengan R^2 0,303-0,672 kecuali perlakuan granule aktivasi asam memiliki kecenderungan sesuai dengan model isotherm Langmuir dengan R^2 0,834. Model isotherm Zn^{2+} seluruh perlakuan memiliki kecenderungan sesuai dengan model isotherm Freundlich dengan R^2 0,603-0,884 kecuali perlakuan powder aktivasi asam memiliki kecenderungan sesuai dengan isotherm Langmuir dengan R^2 0,825. Kapasitas adsorpsi maksimum dari cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) dalam adsorpsi Pb^{2+} , Cu^{2+} , dan Zn^{2+} berkisar antara 11,236-125 mg/g; 6,083-38,462 mg/g; dan 11,364-200 mg/g.
3. Kinetika adsorpsi cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) dalam adsorpsi Pb^{2+} seluruh perlakuan memiliki kecenderungan sesuai dengan model kinetika pseudo-second order dengan R^2 0,942-0,999. Model kinetika Cu^{2+} memiliki kecenderungan sesuai dengan model kinetika pseudo-first order pada perlakuan granule pemanasan 110°C, granule aktivasi asam, dan powder pemanasan 110°C dengan R^2 berurut-turut

sebesar 0,990; 0,866; dan 0,955 sedangkan model kinetika pseudo-second order pada perlakuan granule pemanasan 550°C, powder pemanasan 550°C, dan powder aktivasi asam dengan R^2 berturut-turut sebesar 0,961; 0,998; dan 0,999. Model kinetika Zn^{2+} secara keseluruhan memiliki kecenderungan sesuai dengan model kinetika pseudo-second order dengan R^2 0,893-0,993 kecuali pada perlakuan granule aktivasi asam dan powder pemanasan 110°C yang memiliki kecenderungan sesuai dengan model kinetika pseudo-first order dengan R^2 0,986 dan 0,888.

4. Kapasitas adsorpsi maksimum dengan waktu 6 jam paling tinggi dari cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) dalam adsorpsi Pb^{2+} , Cu^{2+} , dan Zn^{2+} mencapai 125 mg/g powder; 550°C); 38,462 mg/g (powder; 550°C); 200 mg/g (granule; 550°C) dengan mengikuti urutan berdasarkan jenis adsorbat $Zn^{2+} > Pb^{2+} > Cu^{2+}$.

5.2 Saran

1. Pelaksanaan penelitian lanjutan terkait dengan pemanfaatan cangkang kerang darah sebagai alternatif adsorben dapat dilakukan dengan mempertimbangkan ion-ion lain sebagai kompetitor.
2. Penggunaan cangkang kerang darah sebagai adsorben perlu dilakukan kajian penanganan selanjutnya karena cangkang kerang darah yang telah digunakan mengandung logam berat.

Daftar Pustaka

- Ademiluyi, F. T., David-West, E. O., 2012. Effect of Chemical Activation on the Adsorption of Heavy Metals Using Activated Carbon from Waste Materials. International Scholarly Research Network Chemical Engineering 2012(2012). 1-5.
- Amien, M. H., Iromo, H., 2010. Studi Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb), Nikel (Ni), Tembaga (Cu), dan Kadmium (Cd) di Perairan Kota Tarakan Kalimantan Timur. Media Sains 2(1). 35-43.
- Anonim, (-a). Lead.
<http://webmineral.com/specimens/photos/Lead.jpg>
diakses tanggal 12 Januari 2015
- Anonim, (-b). Copper.
<http://www.webmineral.com/specimens/photos/Copper.jpg>
diakses tanggal 12 Januari 2015
- Anonim, (-c). Zinc.
<http://webmineral.com/specimens/photos/PG2MS/259-22.jpg>
diakses tanggal 12 Januari 2015
- Anonim, (-d). *Anadara granosa*.
http://eol.org/pages/4726043/hierarchy_entries/59575070/names?all=1
diakses tanggal 13 Januari 2015
- Agustini, T. W., Fahmi, A. S., Widowati, I., Sarwono, A., 2011. Pemanfaatan Limbah Cangkang Kerang Simping (*Amusium pleuronectes*) dalam Pembuatan Cookies Kaya Kalsium. Jurnal Hasil Perikanan Indonesia 14(1). 8-13.
- Ahmed, T., 2012. Adsorption (Adsorption Kinetics, Mechanism of Adsorption, Factor Affecting Adsorption Process, Adsorption Isotherm). Course Material. Bangladesh University of Engineering & Technology. Bangladesh.
- Aopreeya, M., Arunlertaree, C., Yuwaree, C., Boonprasert, R., Hutacharoern, R., 2013. Blood Cockle Shell: an agro-waste for N and P Removal of Shrimp Farm Effluent. Environment and Natural Resources Journal 11(1). 58-69.

- APHA. 2005. Standard Methods for The Examination of Water & Wastewater. APHA. USA.
- Armenante, P. M., 1999. Adsorption. Course Material. New Jersey Institute of Technology. USA.
- Ashoka, H. S., dan Inamdar, S. S., 2010. Adsorption Removal of Methyl Red from Aqueous Solution with Treated Sugarcane Bagasse and Activated Carbon-a Comparative Study. Global Journal of Environmental Research 4(3). 175-182.
- Azhar, H., Widowati, I., Suprijanto, J., 2012. Studi Kandungan Logam Berat Pb, Cu, Cd, Cr pada Kerang Simpson (*Amusium pleuronectes*), Air dan Sedimen di Perairan Wedung, Demak serta *Maximum Tolerable Intake* pada Manusia. Journal of Marine Research 1(2). 35-44.
- Bhatnagar, A., Minocha, A. K., 2006. Conventional and Non-Conventional Adsorbents for Removal of Pollutants from Water – A Review. Indian Journal of Chemical Technology 13(3). 203-217.
- Chojmacka, K., 2009. Biosorption and Bioaccumulation in Practice. Nova Science Publishers Inc. USA.
- Chong, H. L. H., Chia, P. S., Ahmad, M. N., 2013. The Adsorption of Heavy Metal by Bornean Oil Palm Shell and its Potential Application as Constructed Wetland Media. Biosource Technology 130. 181-186.
- Cochrane, E. L., Lu, S., Gibb, S.W., Villaescusa, I., 2006. A Comparison of Low-cost Biosorbents and Commercial Sorbents for the Removal of Copper from Aqueous Media. Journal of Hazardous Materials 137(1). 198-206.
- Crittenden, B., Thomas, W. J., 1998. Adsorption Technology & Design. Butterworth Heinemann, Reed Education and Professional Publishing Ltd. Great Britain.
- Dahiya, S., Tripathi, R. M., Hegde, A. G., Biosorption of heavy metals and Radionuclide from aqueous solution by pre-treated arca shell biomass. Journal of Hazardous Materials 150(2008). 376-386.
- Danarto, Y. C., 2007. Kinetika Adsorpsi Logam Berat Cr(VI) dengan Adsorben Pasir yang Dilapisi Besi Oksida. Jurnal Ekulibrium 6(2). 65-70.

Davis, M. L., 2010. Water and Wastewater Engineering. Professional Edition. McGraw Hill, USA.

Donat, R., Akdogan, A., Erdem, E., Cetisli, H., 2005. Thermodynamics of Pb^{2+} and Ni^{2+} Adsorption onto Natural Bentonite from Aqueous Solutions. Journal of Colloid and Interface Science 286(1). 43-52.

Efendi, H., 2003. Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan. Kanisius, Yogyakarta.

FAO, 2014. Species Fact Sheet *Anadara granosa* (Linnaeus, 1758).

Febrianto, J., Kosasih, A. N., Sunarso, J., Ju, Y., Indraswati, N., Ismadji, S., Equilibrium and Kinetic Studies in Adsorption of Heavy Metals using Biosorbent: a Summary of Recent Studies. Journal of Hazardous Materials 162(2-3). 616-645.

Fusi, L., Primicerio, M., Monti, A., 2013. A Model for Calcium Carbonate Neutralization in the Presence of Armoring. Applied Mathematical Modelling. 1-27.

Gopalakrishnan, K., Jeyadoss, T., 2011. Comparative Study on Biororption of Zn (II), Cu(II), and Cr(IV) from Textile Dye Effluent Using Activated Rice Husk and Activated Coconut Fibre. Indian Journal of Chemical Technology 18(1). 61-66.

Grassi, M., Kaykioglu, G., Belgiorno, V., Lofrano, G., 2012. Removal of Emerging Contaminants from Water and Wastewater by Adsorption Process. Emerging Compounds Removal from Wastewater Natural and Solar Based Treatments. Lofrano, G. (Ed).

Gulnaz, O., Sahmurova, A., Kama, S., 2011. Removal of Reactive Red 198 from Aqueous Solution by *Potamogeton crispus*. Chemical Engineering Journal. 174(2-3). 579-585.

Gustian, I., Suharto, T. E., 2005. Studi Penurunan Salinitas Air dengan Menggunakan Zeolit Alam yang Berasal dari Bengkulu. Jurnal Gradien 1(1). 38-42.

Hsu, T. C., 2009. Experimental assessment of adsorption of Cu^{2+} dan Ni^{2+} from Aqueous Solution by Oyster Shell Powder. Journal of Hazardous Materials 171(1-3). 995-1000.

- Igberase, E., Osifo, P., Ofomaja, A., 2014. The Adsorption of Copper (II) ions by Polyaniline Graft Chitosan Beads from Aqueous Solution: Equilibrium, Kinetic and Desorption Studies. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 2(1). 362-369.
- Kyzas, G. Z., Kostoglou, M., 2014. Green Adsorbents for Wastewaters: A Critical Review. *Material* 7. 333-364.
- Lesmana, S. O., Febriana, N., Soetardjo, F. E., Sunarso, J., Ismadji, S., 2009. Studies on Potential Applications of Biomass for the Separation of Heavy Metal form Water dan Wastewater. *Biochemical Engineering Journal* 44(1). 19-41.
- Martín-González, M. A., Susial, P., Pérez-Pena, J., Dona-Rodríguez, J. M., 2013. Preparation of Activated Carbons from Banana Leaves By Chemical Activation with Phosphoric Acid Adsorption of Methylene Blue. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 12(3). 595-608.
- Monash, P., Pugazhenth, G., 2010. Investigation of Equilibrium and Kinetic Parameters of Methylene Blue Adsorption onto MCM-41. *Korean Journal Chemical Engineering* 27(4). 1184-1191.
- Nasuha, A., 2013. Heavy Metals and Proximate Composition of Blood Cockle (*Anadara granosa*) from Different Locations of Penisular Malaysia. Final Project. Faculty Science and Technology, University Teknologi Mara.
- Odoemelam, S. A., Eddy, N. O., 2009. Studies on the Use of Oyster, Snail and Periwinkle Shells as Adsorbents for the Remobal of Pb^{2+} from Aqueous Solution. *E-Journal of Chemistry* 6(1).213-222.
- Orodu, V. E., Olisedeme, S., Okpu, R. C., 2014. Removal of Heavy Metals from Aqueous Solutions using Snail Shell Powder as Available Adsorbent. *International Journal of Science and Technology* 3(7). 422-428.
- Os, A. S., 2014. Kandungan Logam Berat Pb, Cu, Zn pada Daging dan Cangkang Kerang Hijau (*Perna viridis*) di Perairan Tanjung Balai Asahan. *Jurnal Online Mahasiswa FPIK Universitas Riau* 1(2). 1-11.
- Palar, H., 2012. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. Rineka Cipta. Jakarta Indonesia.

- Pemerintah RI. 2001. Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Indonesia.
- Pemerintah RI. 2004. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 tentang Baku Mutu Air laut. Indonesia.
- Pemerintah RI, 2011. Statistik Perikanan Tangkap Indonesia 2010. Jakarta.
- Pemerintah RI, 2013. Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya. Indonesia.
- Rahman, M. M., Awang, M., Mohosina, B. S., Kamaruzzaman, B.Y., Nik, W. B. W., Adnan, C. M. C., 2012. Waste Palm Shell Converted to High Efficient Activated Carbon by Chemical Activation Method and Its Adsorption Capacity Tested by Water Filtration. APCBEE Procedia 1. 293-298.
- Reynold, T. D. dan Richard, P. A., 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, Second Edition. PWS Publishing Company, USA.
- Rochyaton, E., dan Rozak, A., 2007. Pemantauan Kadar Logam Berat dalam Sedimen di Perairan Teluk Jakarta. Makara Sains 11(1). 28-36.
- Rohman, T., Syarifudin, Zaman, B., 2010. Model Cemar Seng (Zn) di Perairan Sungai dengan Metode Upwind dan Metode Quicktest berdasarkan Pembagian Abbot-Ionescu (Studi Kasus: Kaligarang Semarang). Jurnal Presipitasi 7(2). 77-82.
- Roque-Malherbe, R. M. A., 2007. Adsorption and Diffusion in Nanoporous Materials. CRC Press Taylor & Francis Group. USA.
- Rouquerol, F., Rouquerol, J., King, K., 1999. Adsorption by Powders & Porous Solids Principles, Methodology and Applications. Academic Press, London.
- Sahara, E., 2011. Regenerasi Lempung Bentonit dengan NH_4^+ Jenuh yang Diaktivasi Panas dan Daya Adsorpsinya terhadap Cr(III). Jurnal Kimia 5(1). 81-87.
- Shawabkeh, R., Khan, M. J., Al-Juhani, A. A., Al-Abdul Wahhab, H. I., Hussein, I. A., 2011. Enhancement of Surface Properties of Oil Fly Ash by Chemical Treatment. Applied Surface Science 258(5). 1643-1650.

- Svehla, G., 1979. Text book of Macro and Semimicro Qualitative Inorganic Analysis. Longman Group Limited. London.
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L., Stensel, H. D., 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse, Fourth Edition. McGraw-Hill Companies Inc. USA.
- Varga, M., Takács, M., Záray, G., Varga, I., 2013. Comparative Study of Sorption Kinetics and Equilibrium of Chromium (VI) on Charcoals Prepared from Different Low-cost Materials. *Microchemical Journal* 107. 25-30.
- Widihati, I. A.G., 2008. Adsorpsi Anion Cr(VI) oleh Batu Pasir Teraktivasi Asam dan Tersalut Fe₂O₃. *Jurnal Kimia* 2(1). 25-30.
- Wu, Q., Chen, J., Clark, M., Yu, Y., 2014. Adsorption of Copper to Different Biogenic Oyster Shell Structures. *Applied Surface Science Journal* 311.264-272.
- Wulandari, S. Y., Yulianto, B., Santosa, G. W., dan Suwartimah, K., 2009. Kandungan Logam Berat Hg dan Cd dalam Air, Sedimen, dan Kerang Darah (*Anadara granosa*) dengan Menggunakan Analisis Pengaktifan Neutron (APN). *Jurnal Ilmu Kelautan* 14(3). 170-175.
- Wulandari, E., Herawati, E. Y., Arfianti, D., 2012. Kandungan Logam Berat Pb pada Air Laut dan Tiram *Saccostrea glomerata* sebagai Bioindikator Kualitas Perairan Prigi, Trenggalek, Jawa Timur. *Jurnal Penelitian Perikanan* 1 (1). 10-14.
- Zahir, M. S. M., Kamaruzzaman, B. Y., John, A. B., Jalal, K. C. A., Shahbudin, S., Al-Barawani, S. M., Goddard, J. S., 2011. Bioaccumulation of Selected Metals in the Blood Cockle (*Anadara granosa*) from Langkawi Island Malaysia. *Oriental Journal of Chemistry* 27(3). 979-984.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Konsentrasi Logam (mg/l) Percobaan Isotherm Adsorpsi

Ukuran Adsorben	Perlakuan	Jenis Logam	Massa Adsorben (gr)				
			0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Granular (G)	Pemanasan 110°C (A)	Pb	24,77	18,46	6,42	1,83	0,66
		Cu	4,49	10,28	1,58	0,16	1,90
		Zn	21,35	10,02	1,34	1,35	1,38
	Pemanasan 550°C (B)	Pb	19,86	11,52	13,41	10,52	8,8
		Cu	65,58	48,89	19,38	34,3	20,78
		Zn	47,44	39,85	28,85	20,94	21,73
	Perendaman Asam (C)	Pb	46,61	40,89	39,07	35,69	31,28
		Cu	82,01	79,18	70,31	66,08	63,44
		Zn	58,45	45,64	43,94	23,85	25,97
Powder (P)	Pemanasan 110°C (A)	Pb	16,4	8,53	8,37	3,49	6,79
		Cu	6,22	9,28	11,02	8,59	8,66
		Zn	22,39	19,05	17,68	18,72	15,13
	Pemanasan 550°C (B)	Pb	19,77	11,61	4,28	7,71	3,21
		Cu	55,48	39,01	13,94	14,5	11,58
		Zn	73,27	41,93	22,10	16,42	16,43
	Perendaman Asam (C)	Pb	25,38	23,37	21,01	14,9	17,46
		Cu	19,12	18,82	17,8	14,4	17,46
		Zn	27,79	26,46	24,49	19,22	15,58

Lampiran 2. Data Konsentrasi Logam (mg/l) Percobaan Kinetika Adsorpsi

Ukuran Adsorben	Perlakuan	Jenis Logam	Waktu Kontak (jam)				
			0,5	1	2	4	6
Granular (G)	Pemanasan 110°C (A)	Pb	34,94	28,11	15,28	28,93	6,42
		Cu	79,52	63,56	53,36	32,52	11,58
		Zn	68,27	67,01	37,89	32,10	1,34
	Pemanasan 550°C (B)	Pb	15,55	12,27	10,91	14,19	13,41
		Cu	57,52	36,75	43,74	26,30	19,38
		Zn	51,67	35,92	38,68	31,24	28,85
	Perendaman Asam (C)	Pb	30,62	44,23	33,58	13,74	31,28
		Cu	80,40	83,34	84,32	68,39	70,31
		Zn	77,02	75,95	61,84	49,47	34,94
Powder (P)	Pemanasan 110°C (A)	Pb	19,38	32,85	13,09	15,01	8,37
		Cu	67,48	75,47	29,92	16,82	11,02
		Zn	69,23	74,47	52,29	43,92	17,68
	Pemanasan 550°C (B)	Pb	8,80	15,01	18,01	11,83	4,28
		Cu	32,20	29,94	34,37	23,49	14,76
		Zn	24,97	26,55	34,66	18,82	22,10
	Perendaman Asam (C)	Pb	13,42	15,01	24,29	7,69	21,01
		Cu	33,87	23,01	20,71	16,89	17,80
		Zn	50,36	49,06	44,86	27,62	15,59

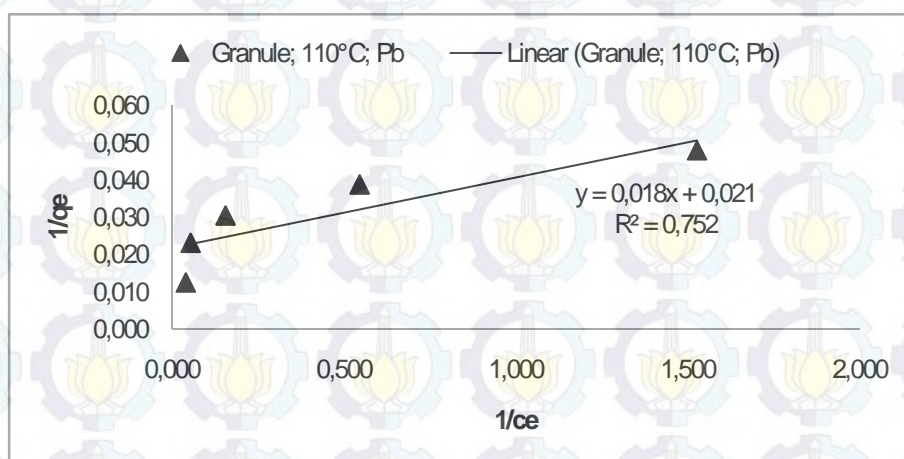
Lampiran 3. Perhitungan Isotherm Adsorpsi

MODEL ISOTHERM ADSORPSI LANGMUIR-Pb

waktu (jam)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qe (mg/g)	1/Ce	1/qe
6	0,1000	105,10	24,77	100	80,3300	0,0404	0,012
6	0,2000	105,10	18,46	100	43,3200	0,0542	0,023
6	0,3000	105,10	6,42	100	32,8933	0,1558	0,030
6	0,4000	105,10	1,83	100	25,8170	0,5459	0,039
6	0,5000	105,10	0,66	100	20,8890	1,5267	0,048

1/Ce	1/qe
0,040	0,012
0,054	0,023
0,156	0,030
0,546	0,039
1,527	0,048

Granule; 110°C; Pb



$$y = ax + b$$

$$1/qe = 1/qm \cdot KL \cdot 1/Ce + 1/qm$$

$$y = 0,003x + 0,026$$

$$KL = 1/qm \cdot a \quad qm = 1/b$$

a	b
0,018	0,021

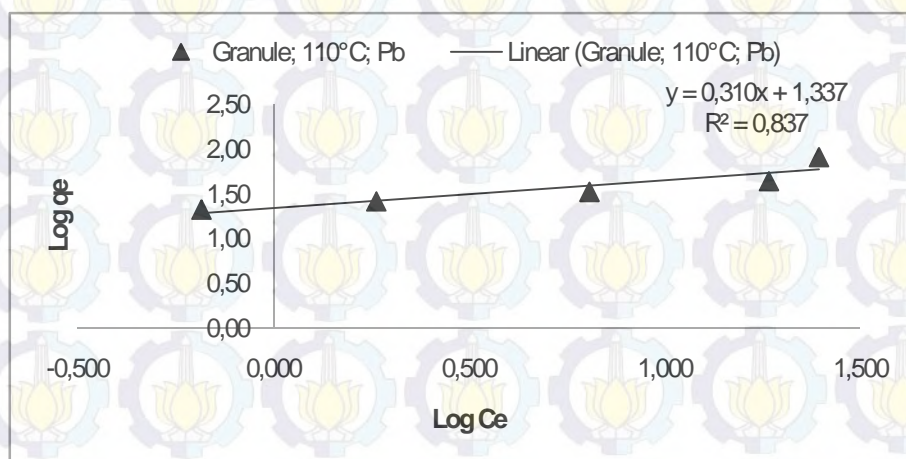
KL	qm	R ²
1,167	47,619	0,752

MODEL ISOTHERM ADSORPSI FREUNDLICH-Pb

waktu (menit)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qe (mg/g)	log qe	log Ce
6	0,1000	105,10	24,77	100	80,3300	1,9049	1,394
6	0,2000	105,10	18,46	100	43,3200	1,6367	1,266
6	0,3000	105,10	6,42	100	32,8933	1,5171	0,808
6	0,4000	105,10	1,83	100	25,8170	1,4119	0,263
6	0,5000	105,10	0,66	100	20,8890	1,3199	-0,184

Log Ce	Log qe
1,394	1,90
1,266	1,64
0,808	1,52
0,263	1,41
-0,184	1,32

Granule; 110°C;
Pb



$$y = ax + b$$

$$q = k C^{(1/n)}$$

$$\log q = 1/n \log c + \log k$$

$$y = 0,001x + 1,581$$

n=1/a	kf=10 ^b
a	b
0,310	1,337

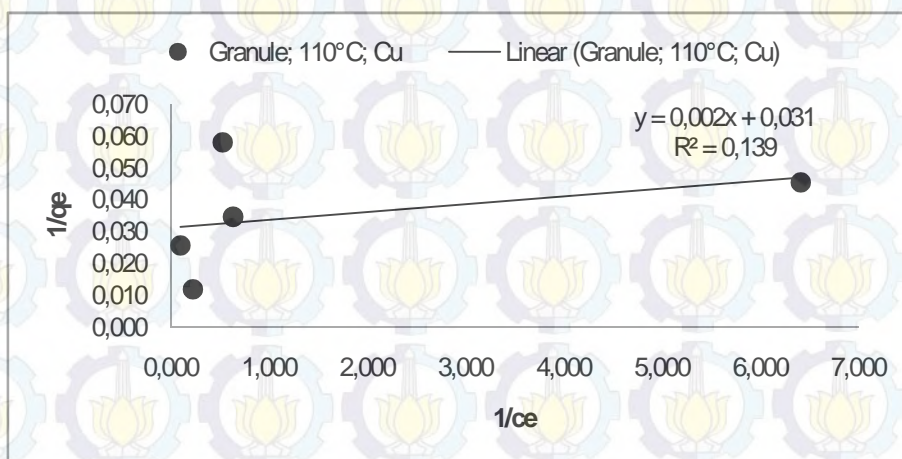
n	Kf	R ²
3,226	21,727	0,837

MODEL ISOTHERM LANGMUIR-Cu Granule; 110°C; Cu

waktu (jam)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qe (mg/g)	1/Ce	1/qe
6	0,1000	88,23	4,49	100	83,7400	0,2227	0,012
6	0,2000	88,23	10,28	100	38,9750	0,0973	0,026
6	0,3000	88,23	1,58	100	28,8833	0,6329	0,035
6	0,4000	88,23	0,16	100	22,0185	6,4103	0,045
6	0,5000	88,23	1,90	100	17,2662	0,5266	0,058

1/Ce	1/qe
0,223	0,012
0,097	0,026
0,633	0,035
6,410	0,045
0,527	0,058

Granule; 110°C; Cu



$$y = ax + b$$

$$1/qe = 1/qm \cdot KL \cdot 1/Ce + 1/qm$$

$$y = 0,002x + 0,031$$

$$KL = 1/qm \cdot a \quad qm = 1/b$$

a	b
0,002	0,031

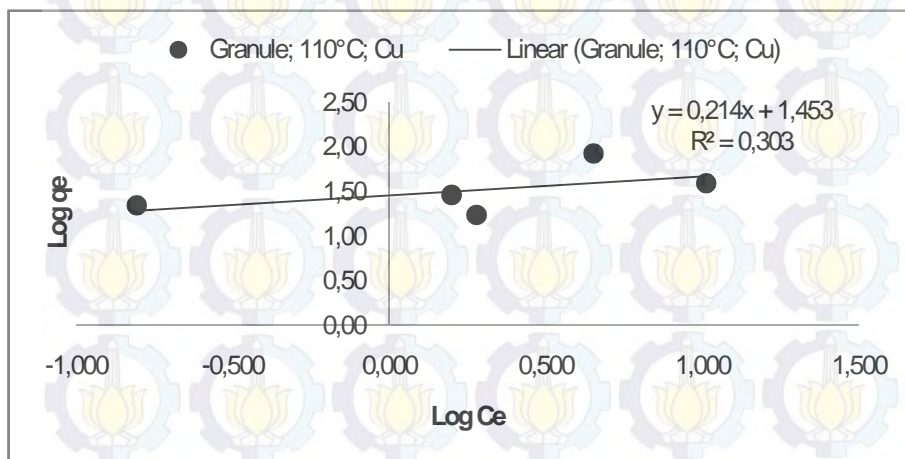
KL	qm	R ²
15,500	32,258	0,139

MODEL ISOTHERM ADSORPSI FREUNDLICH-Cu Granule; 110°C; Cu

waktu (menit)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qe (mg/g)	log qe	log Ce
6	0,1000	88,23	4,49	100	83,7400	1,9229	0,652
6	0,2000	88,23	10,28	100	38,9750	1,5908	1,012
6	0,3000	88,23	1,58	100	28,8833	1,4606	0,199
6	0,4000	88,23	0,16	100	22,0185	1,3428	-0,807
6	0,5000	88,23	1,90	100	17,2662	1,2372	0,279

Log Ce	Log qe
0,652	1,92
1,012	1,59
0,199	1,46
-0,807	1,34
0,279	1,24

Granule; 110°C; Cu



$$y = ax + b$$

$$\log q = 1/n \log c + \log k$$

$$y = 1,415x - 1,872$$

$$n=1/a \quad kf=10^b$$

a	b
0,214	1,453

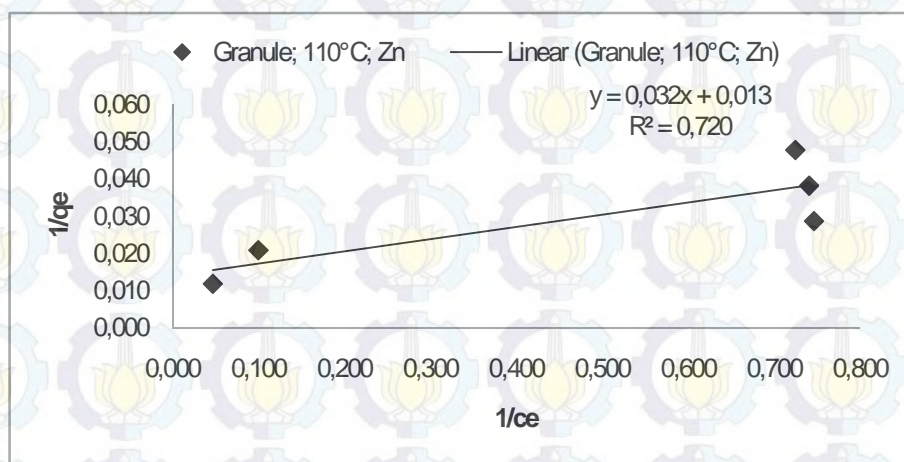
n	Kf	R ²
4,673	28,379	0,303

MODEL ISOTHERM ADSORPSI LANGMUIR-Zn Granule; 110°C; Zn

waktu (jam)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qe (mg/g)	1/Ce	1/qe
6	0,1000	106,20	21,35	100	84,8500	0,0468	0,012
6	0,2000	106,20	10,02	100	48,0900	0,0998	0,021
6	0,3000	106,20	1,34	100	34,9533	0,7463	0,029
6	0,4000	106,20	1,35	100	26,2125	0,7407	0,038
6	0,5000	106,20	1,38	100	20,9640	0,7246	0,048

1/Ce	1/qe
0,047	0,012
0,100	0,021
0,746	0,029
0,741	0,038
0,725	0,048

Granule; 110°C; Zn



$$y = ax + b$$

$$1/qe = 1/qm.KL \cdot 1/Ce + 1/qm$$

$$y = 0,032x + 0,013$$

$$KL = 1/qm.a \quad qm = 1/b$$

a	b
0,032	0,013

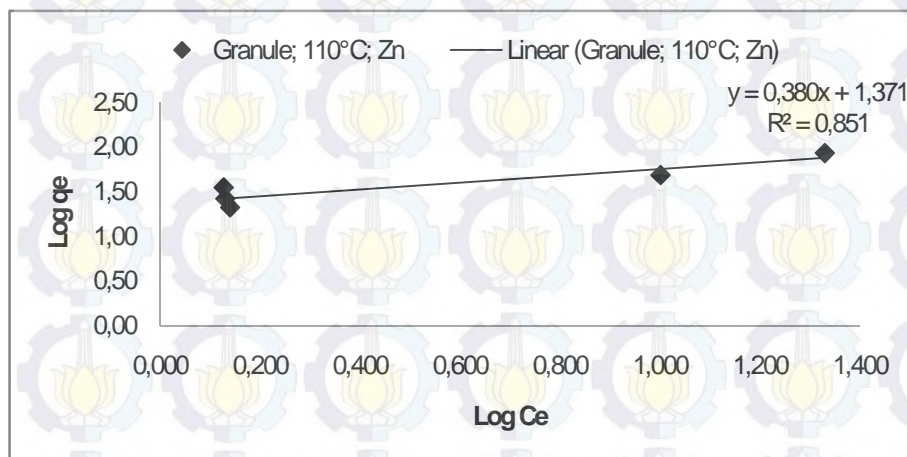
KL	qm	R ²
0,406	76,923	0,72

MODEL ISOTHERM ADSORPSI FREUNDLICH-Zn Granule; 110°C; Zn

waktu (menit)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qe (mg/g)	log qe	log Ce
6	0,1000	106,20	21,35	100	84,8500	1,9287	1,329
6	0,2000	106,20	10,02	100	48,0900	1,6821	1,001
6	0,3000	106,20	1,34	100	34,9533	1,5435	0,127
6	0,4000	106,20	1,35	100	26,2125	1,4185	0,130
6	0,5000	106,20	1,38	100	20,9640	1,3215	0,140

Log Ce	Log qe
1,329	1,93
1,001	1,68
0,127	1,54
0,130	1,42
0,140	1,32

Granule; 110°C; Zn



$$y = ax + b$$

$$q = k C^{(1/n)}$$

$$\log q = 1/n \log c + \log k$$

$$y = 0,389x + 1,371$$

n=1/a	kf=10 ^b
a	b
0,380	1,371

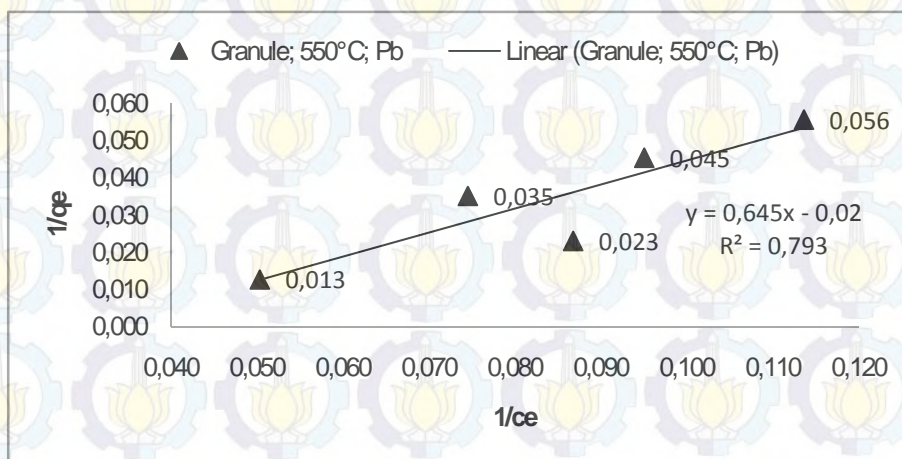
n	Kf	R ²
2,632	23,496	0,851

MODEL ISOTHERM ADSORPSI LANGMUIR-Pb Granule; 550°C; Pb

waktu (jam)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qe (mg/g)	1/Ce	1/qe
6	0,1000	98,86	19,86	100	79,0000	0,0504	0,013
6	0,2000	98,86	11,52	100	43,6700	0,0868	0,023
6	0,3000	98,86	13,41	100	28,4833	0,0746	0,035
6	0,4000	98,86	10,52	100	22,0850	0,0951	0,045
6	0,5000	98,86	8,8	100	18,0120	0,1136	0,056

1/Ce	1/qe
0,050	0,013
0,087	0,023
0,075	0,035
0,095	0,045
0,114	0,056

Granule; 550°C; Pb



$$y = ax + b$$

$$1/q_e = 1/q_m \cdot KL \cdot 1/C_e + 1/q_m$$

$$y = 0,645x - 0,02$$

$$KL = 1/q_m \cdot a \quad q_m = 1/b$$

a	b
0,645	0,02

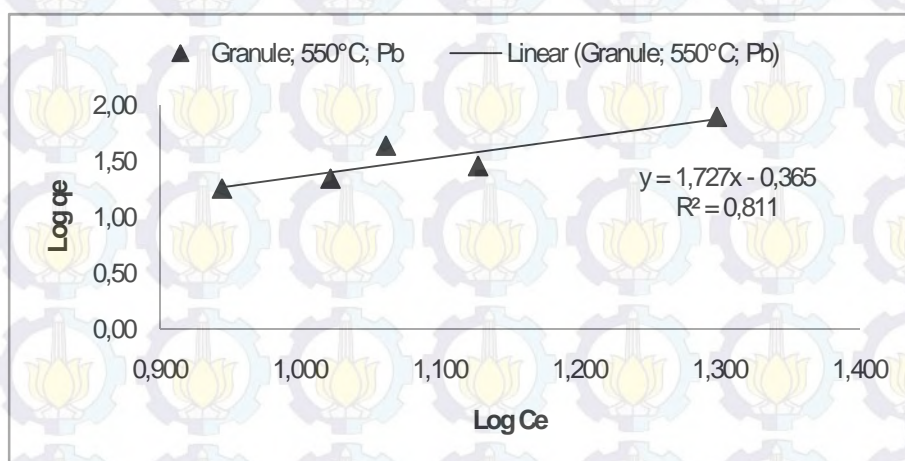
KL	qm	R ²
0,031	50,00	0,793

MODEL ISOTHERM ADSORPSI FREUNDLICH-Pb Granule; 550°C; Pb

waktu (menit)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qe (mg/g)	log qe	log Ce
6	0,1000	98,86	19,86	100	79,0000	1,8976	1,298
6	0,2000	98,86	11,52	100	43,6700	1,6402	1,061
6	0,3000	98,86	13,41	100	28,4833	1,4546	1,127
6	0,4000	98,86	10,52	100	22,0850	1,3441	1,022
6	0,5000	98,86	8,8	100	18,0120	1,2556	0,944

Log Ce	Log qe
1,298	1,90
1,061	1,64
1,127	1,45
1,022	1,34
0,944	1,26

Granule; 550°C;
Pb



$$y = ax + b$$

$$\log q = 1/n \log c + \log k$$

$$y = 1,727x - 0,365$$

$$q = k C^{(1/n)}$$

$$n=1/a$$

$$kf=10^b$$

a	b
1,727	-0,365

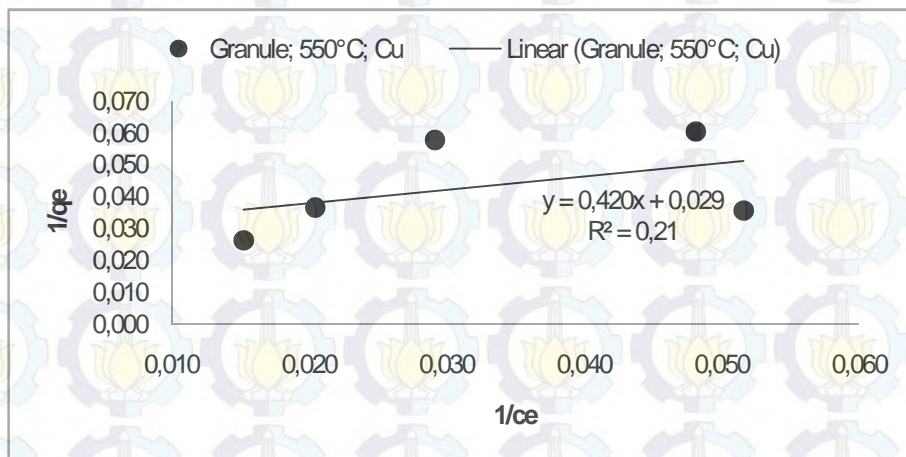
n	Kf	R ²
0,579	0,432	0,811

MODEL ISOTHERM LANGMUIR-Cu Granule; 550°C; Cu

waktu (jam)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qe (mg/g)	1/Ce	1/qe
6	0,1000	103,59	65,58	100	38,0100	0,0152	0,026
6	0,2000	103,59	48,89	100	27,3500	0,0205	0,037
6	0,3000	103,59	19,38	100	28,0700	0,0516	0,036
6	0,4000	103,59	34,3	100	17,3225	0,0292	0,058
6	0,5000	103,59	20,78	100	16,5620	0,0481	0,060

1/Ce	1/qe
0,015	0,026
0,020	0,037
0,052	0,036
0,029	0,058
0,048	0,060

Granule; 550°C;
Cu



$$y = ax + b$$

$$1/q_e = 1/q_m \cdot KL \cdot 1/C_e + 1/q_m$$

$$y = 0,420x + 0,029$$

$$KL = 1/q_m \cdot a$$

$$q_m = 1/b$$

a	b
0,42	0,029

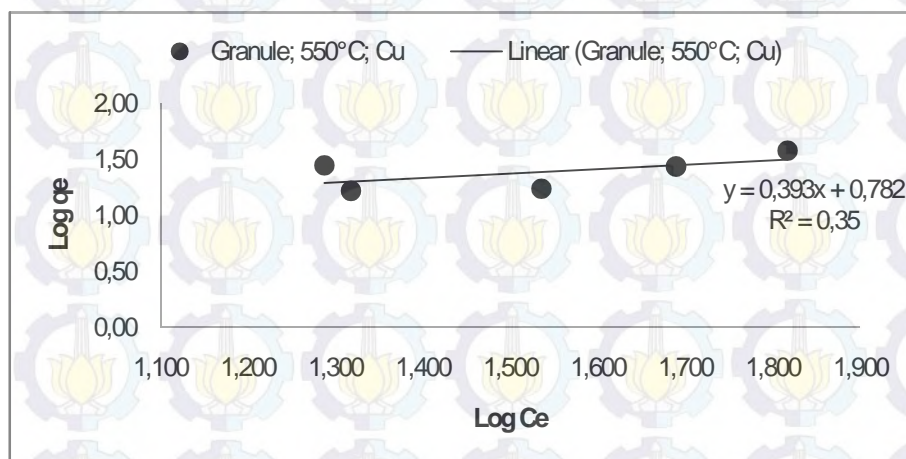
KL	qm	R ²
0,069	34,483	0,21

MODEL ISOTHERM ADSORPSI FREUNDLICH-Cu Granule; 550°C; Cu

waktu (menit)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qe (mg/g)	log qe	log Ce
6	0,1000	103,59	65,58	100	38,0100	1,5799	1,817
6	0,2000	103,59	48,89	100	27,3500	1,4370	1,689
6	0,3000	103,59	19,38	100	28,0700	1,4482	1,287
6	0,4000	103,59	34,3	100	17,3225	1,2386	1,535
6	0,5000	103,59	20,78	100	16,5620	1,2191	1,318

Log Ce	Log qe
1,817	1,58
1,689	1,44
1,287	1,45
1,535	1,24
1,318	1,22

Granule; 550°C;
Cu



$$y = ax + b$$

$$\log q = 1/n \log c + \log k$$

$$y = 0,889x + 0,297$$

$$n=1/a \quad kf=10^b$$

a	b
0,393	0,782

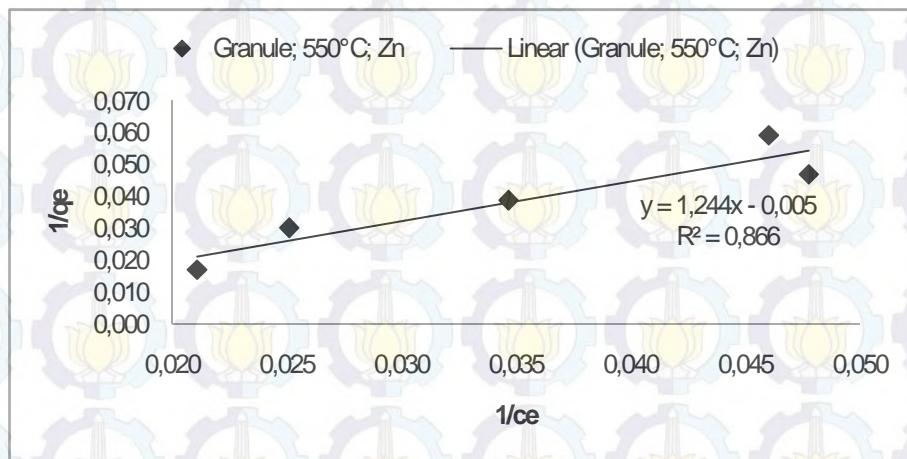
n	Kf	R ²
2,545	6,053	0,35

MODEL ISOTHERM ADSORPSI LANGMUIR-Zn Granule; 550°C; Zn

waktu (jam)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qe (mg/g)	1/Ce	1/qe
6	0,1000	106,20	47,44	100	58,7600	0,0211	0,017
6	0,2000	106,20	39,85	100	33,1750	0,0251	0,030
6	0,3000	106,20	28,85	100	25,7833	0,0347	0,039
6	0,4000	106,20	20,94	100	21,3150	0,0478	0,047
6	0,5000	106,20	21,73	100	16,8940	0,0460	0,059

1/Ce	1/qe
0,021	0,017
0,025	0,030
0,035	0,039
0,048	0,047
0,046	0,059

Granule; 550°C;
Zn



$$y = ax + b$$

$$1/qe = 1/qm \cdot KL \cdot 1/Ce + 1/qm$$

$$y = 1,244x - 0,005$$

$$KL =$$

$$1/qm \cdot a \quad qm = 1/b$$

a	b
1,244	0,005

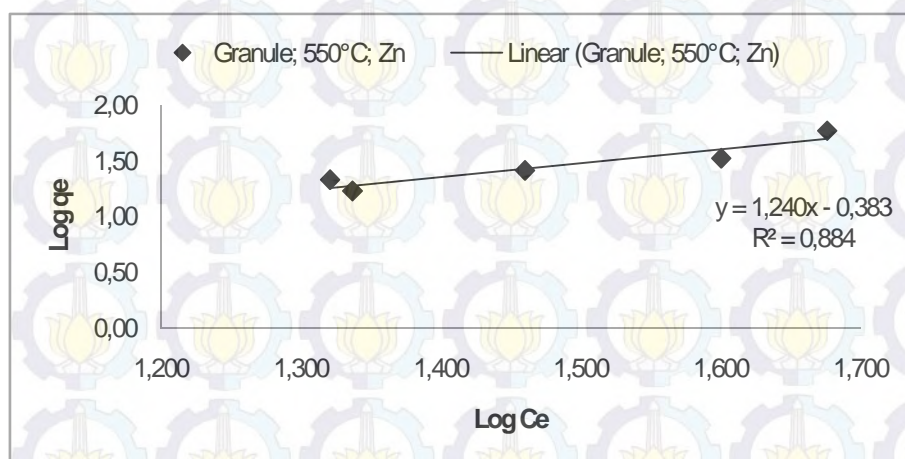
KL	qm	R ²
0,0040	200	0,866

MODEL ISOTHERM ADSORPSI FREUNDLICH-Zn Granule; 550°C; Zn

waktu (menit)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qe (mg/g)	log qe	log Ce
6	0,1000	106,20	47,44	100	58,7600	1,7691	1,676
6	0,2000	106,20	39,85	100	33,1750	1,5208	1,600
6	0,3000	106,20	28,85	100	25,7833	1,4113	1,460
6	0,4000	106,20	20,94	100	21,3150	1,3287	1,321
6	0,5000	106,20	21,73	100	16,8940	1,2277	1,337

Log Ce	Log qe
1,676	1,77
1,600	1,52
1,460	1,41
1,321	1,33
1,337	1,23

Granule; 550°C;
Zn



$$y = ax + b$$

$$q = k C^{(1/n)}$$

$$\log q = 1/n \log c + \log k$$

$$y = 1,240x - 0,383$$

$$n = 1/a \quad kf = 10^b$$

a	b
1,240	-0,383

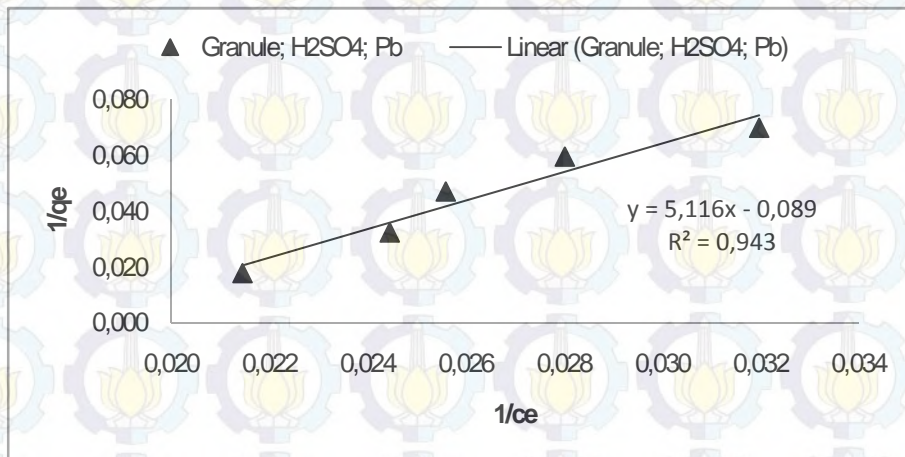
n	Kf	R ²
0,806452	0,414	0,884

MODEL ISOTHERM ADSORPSI LANGMUIR-Pb Granule; H₂SO₄; Pb

waktu (jam)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qe (mg/g)	1/Ce	1/qe
6	0,1000	102,887	46,615	100	56,2720	0,0215	0,018
6	0,2000	102,887	40,895	100	30,9960	0,0245	0,032
6	0,3000	102,887	39,075	100	21,2707	0,0256	0,047
6	0,4000	102,887	35,695	100	16,7980	0,0280	0,060
6	0,5000	102,887	31,28	100	14,3214	0,0320	0,070

1/Ce	1/qe
0,021	0,018
0,024	0,032
0,026	0,047
0,028	0,060
0,032	0,070

Granule; H₂SO₄; Pb



$$y = ax + b$$

$$1/qe = 1/qm \cdot KL \cdot 1/Ce + 1/qm$$

$$y = 5,116x - 0,089$$

$$KL = 1/qm \cdot a \quad qm = 1/b$$

a	b
5,116	0,089

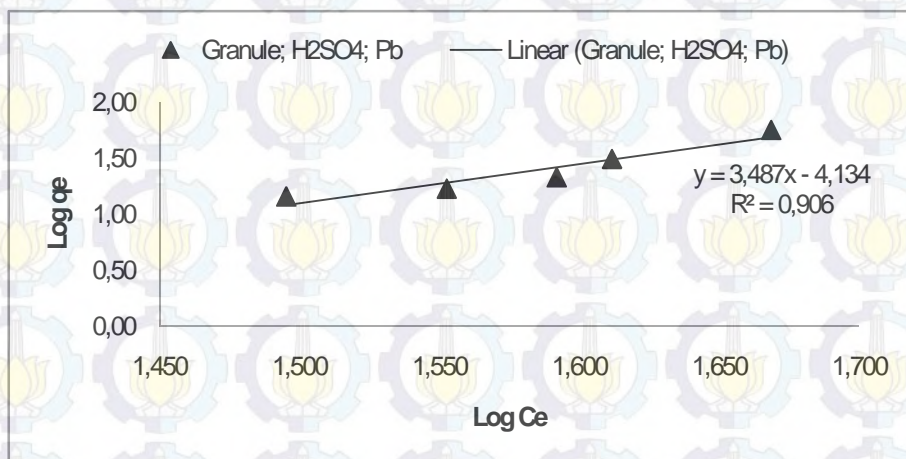
KL	qm	R ²
0,0174	11,2360	0,943

MODEL ISOTHERM ADSORPSI FREUNDLICH-Pb Granule; H2SO4; Pb

waktu (menit)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qe (mg/g)	log qe	log Ce
6	0,1000	102,887	46,615	100	56,2720	1,7503	1,669
6	0,2000	102,887	40,895	100	30,9960	1,4913	1,612
6	0,3000	102,887	39,075	100	21,2707	1,3278	1,592
6	0,4000	102,887	35,695	100	16,7980	1,2253	1,553
6	0,5000	102,887	31,28	100	14,3214	1,1560	1,495

Log Ce	Log qe
1,669	1,75
1,612	1,49
1,592	1,33
1,553	1,23
1,495	1,16

Granule; H2SO4;
Pb



$$y = ax + b$$

$$\log q = 1/n \log c + \log k$$

$$y = 3,487x - 4,134$$

$$q = k C^{(1/n)}$$

$n=1/a$	$kf=10^b$
a	b
3,487	-4,134

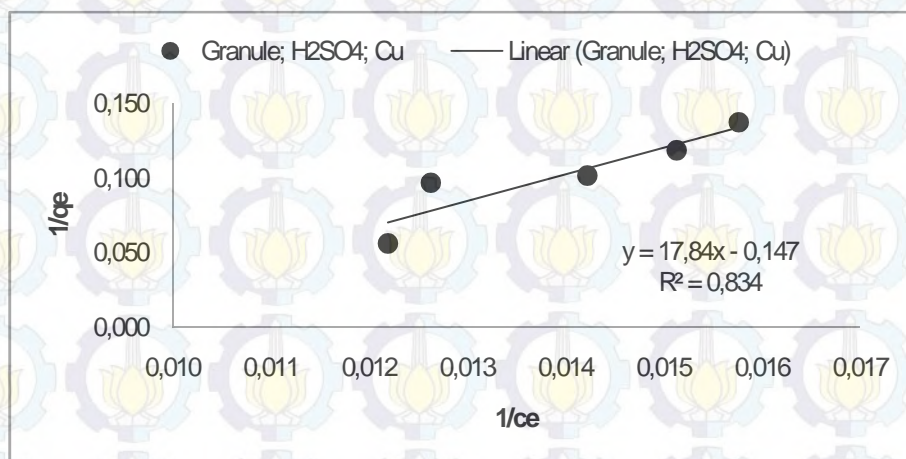
n	Kf	R ²
0,287	0,000073	0,906

MODEL ISOTHERM LANGMUIR-Cu Granule; H2SO4; Cu

waktu (jam)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qe (mg/g)	1/Ce	1/qe
6	0,1000	99,87	82,015	100	17,8550	0,0122	0,056
6	0,2000	99,87	79,185	100	10,3425	0,0126	0,097
6	0,3000	99,87	70,31	100	9,8533	0,0142	0,101
6	0,4000	99,87	66,085	100	8,4463	0,0151	0,118
6	0,5000	99,87	63,44	100	7,2860	0,0158	0,137

1/Ce	1/qe
0,012	0,056
0,013	0,097
0,014	0,101
0,015	0,118
0,016	0,137

Granule; H2SO4;
Cu



$$y = ax + b$$

$$1/q_e = 1/q_m \cdot KL \cdot 1/C_e + 1/q_m$$

$$y = 17,84x + 0,147$$

a	b
17,84	0,147

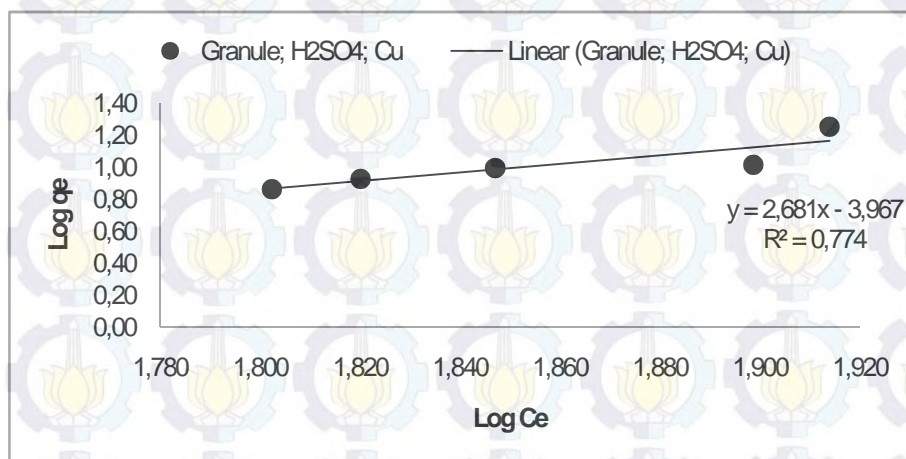
KL	qm	R ²
0,008	6,803	0,834

MODEL ISOTHERM ADSORPSI FREUNDLICH-Cu Granule; H2SO4; Cu

waktu (menit)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qe (mg/g)	log qe	log Ce
6	0,1000	99,87	82,015	100	17,8550	1,2518	1,914
6	0,2000	99,87	79,185	100	10,3425	1,0146	1,899
6	0,3000	99,87	70,31	100	9,8533	0,9936	1,847
6	0,4000	99,87	66,085	100	8,4463	0,9267	1,820
6	0,5000	99,87	63,44	100	7,2860	0,8625	1,802

Log Ce	Log qe
1,914	1,25
1,899	1,01
1,847	0,99
1,820	0,93
1,802	0,86

Granule; H2SO4;
Cu



$$y = ax + b \quad q = k C^{(1/n)}$$

$$\log q = 1/n \log c + \log k$$

$$y = 2,681x - 3,967$$

$$n=1/a$$

$$kf=10^b$$

a	b
2,681	-3,967

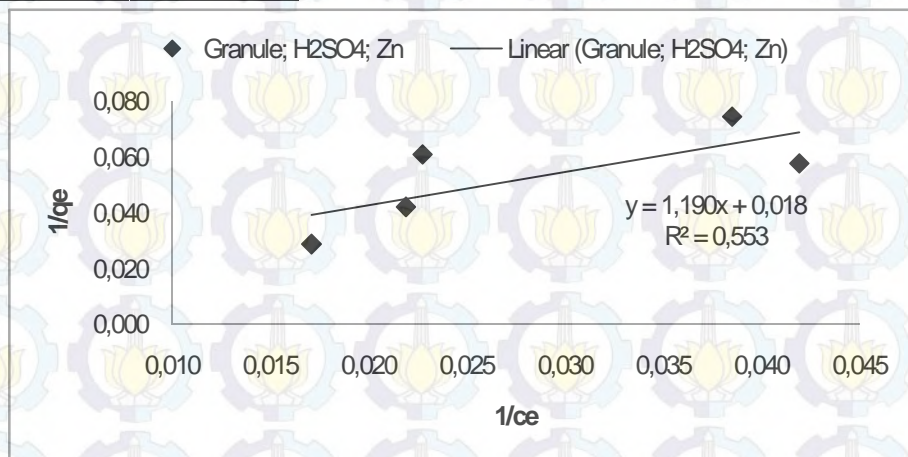
n	Kf	R ²
0,372995	0,0001	0,774

MODEL ISOTHERM ADSORPSI LANGMUIR-Zn Granule; H2SO4; Zn

waktu (jam)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qe (mg/g)	1/Ce	1/qe
6	0,1000	93,28	58,455	100	34,8250	0,0171	0,029
6	0,2000	93,28	45,645	100	23,8175	0,0219	0,042
6	0,3000	93,28	43,94	100	16,4467	0,0228	0,061
6	0,4000	93,28	23,85	100	17,3575	0,0419	0,058
6	0,5000	93,28	25,97	100	13,4620	0,0385	0,074

1/Ce	1/qe
0,017	0,029
0,022	0,042
0,023	0,061
0,042	0,058
0,039	0,074

Granule; H2SO4;
Zn



$$y = ax + b$$

$$1/qe = 1/qm.KL \cdot 1/Ce + 1/qm$$

$$y = 1,190x + 0,018$$

$$KL =$$

$$1/qm.a \quad qm = 1/b$$

a	b
1,19	0,018

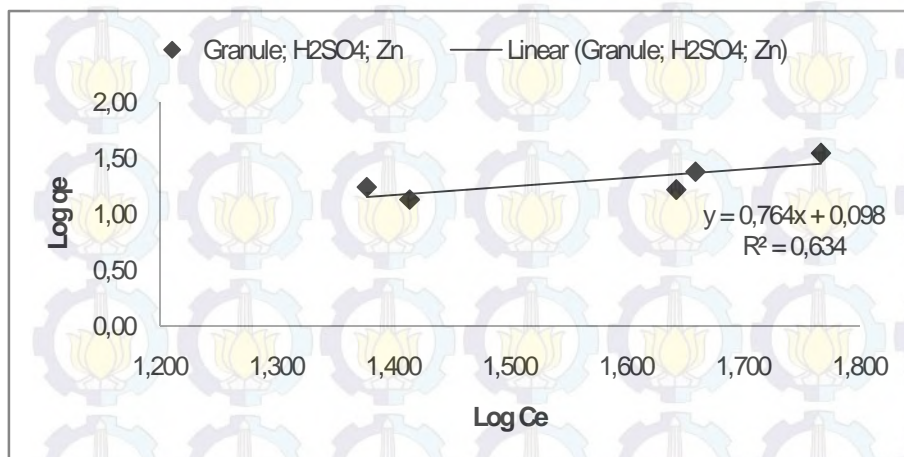
KL	qm	R ²
0,015	56	0,553

MODEL ISOTHERM ADSORPSI FREUNDLICH-Zn Granule; H2SO4; Zn

waktu (menit)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qe (mg/g)	log qe	log Ce
6	0,1000	93,28	58,455	100	34,8250	1,5419	1,767
6	0,2000	93,28	45,645	100	23,8175	1,3769	1,659
6	0,3000	93,28	43,94	100	16,4467	1,2161	1,643
6	0,4000	93,28	23,85	100	17,3575	1,2395	1,377
6	0,5000	93,28	25,97	100	13,4620	1,1291	1,414

Log Ce	Log qe
1,767	1,54
1,659	1,38
1,643	1,22
1,377	1,24
1,414	1,13

Granule; H2SO4;
Zn



$$y = ax + b$$

$$\log q = 1/n \log c + \log k$$

$$y = 0,764x + 0,098$$

$$q = k C^{(1/n)}$$

$$n=1/a$$

$$kf=10^b$$

a	b
0,764	0,098

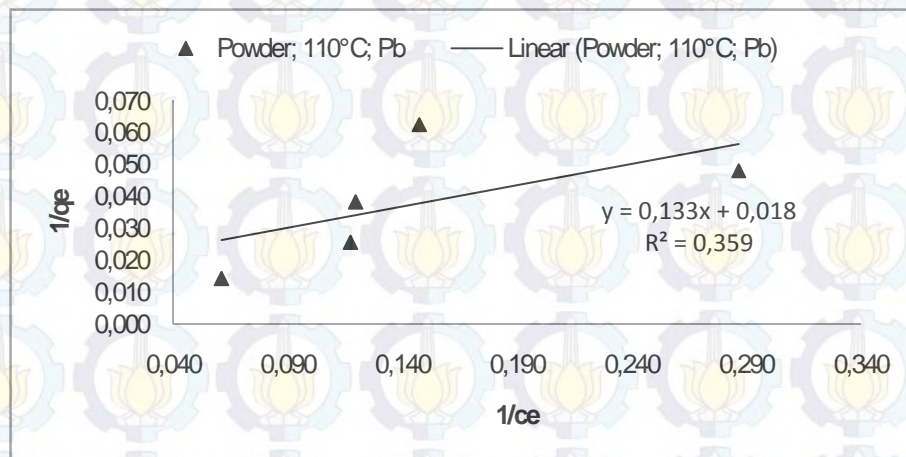
n	Kf	R ²
1,309	1,253	0,634

MODEL ISOTHERM ADSORPSI LANGMUIR Powder; 110°C; Pb

waktu (jam)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qe (mg/g)	1/Ce	1/qe
6	0,1000	86,88	16,4	100	70,4800	0,0610	0,014
6	0,2000	86,88	8,53	100	39,1750	0,1172	0,026
6	0,3000	86,88	8,37	100	26,1700	0,1195	0,038
6	0,4000	86,88	3,49	100	20,8475	0,2865	0,048
6	0,5000	86,88	6,79	100	16,0180	0,1473	0,062

1/Ce	1/qe
0,061	0,014
0,117	0,026
0,119	0,038
0,287	0,048
0,147	0,062

Powder; 110°C; Pb



$$y = ax + b$$

$$1/q_e = 1/q_m \cdot KL \cdot 1/C_e + 1/q_m$$

$$y = 0,133x + 0,018$$

$$KL = 1/q_m \cdot a \quad q_m = 1/b$$

a	b
0,133	0,018

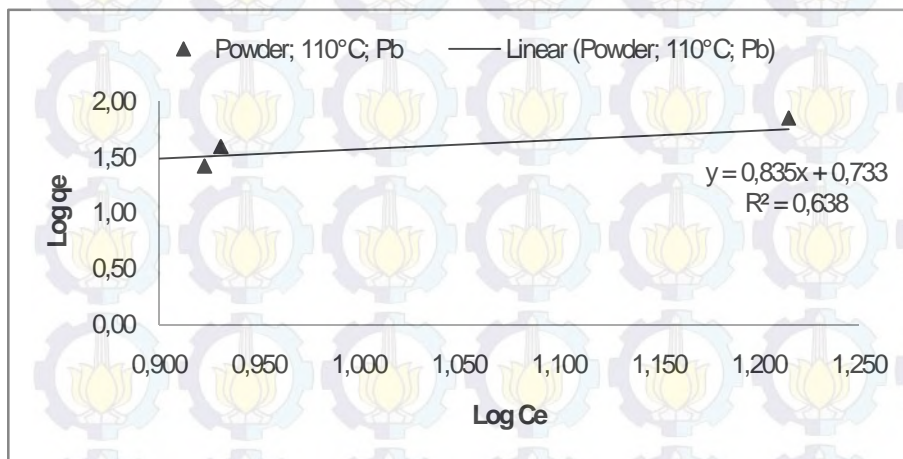
KL	qm	R ²
0,1353	55,5556	0,359

MODEL ISOTHERM ADSORPSI FREUNDLICH Powder; 110°C; Pb

waktu (menit)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qe (mg/g)	log qe	log Ce
6	0,1000	86,88	16,4	100	70,4800	1,8481	1,215
6	0,2000	86,88	8,53	100	39,1750	1,5930	0,931
6	0,3000	86,88	8,37	100	26,1700	1,4178	0,923
6	0,4000	86,88	3,49	100	20,8475	1,3191	0,543
6	0,5000	86,88	6,79	100	16,0180	1,2046	0,832

Log Ce	Log qe
1,215	1,85
0,931	1,59
0,923	1,42
0,543	1,32
0,832	1,20

Powder; 110°C; Pb



$$y = ax + b$$

$$\log q = 1/n \log c + \log k$$

$$y = 0,835x + 0,733$$

$$q = k C^{(1/n)}$$

$$n=1/a$$

$$kf=10^b$$

a	b
0,835	0,733

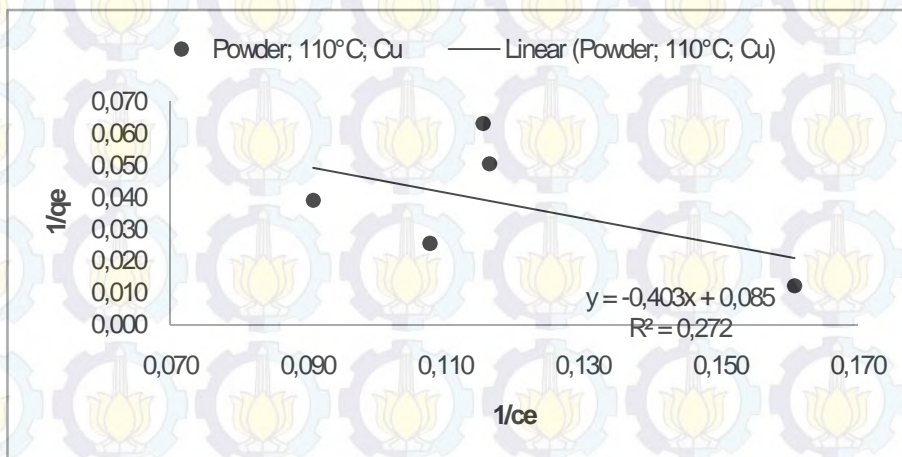
n	Kf	R ²
1,1976	5,4075	0,638

MODEL ISOTHERM ADSORPSI LANGMUIR Powder; 110°C; Cu

waktu (jam)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qe (mg/g)	1/Ce	1/qe
6	0,1000	87,86	6,22	100	81,6400	0,1608	0,012
6	0,2000	87,86	9,28	100	39,2900	0,1078	0,025
6	0,3000	87,86	11,02	100	25,6133	0,0907	0,039
6	0,4000	87,86	8,59	100	19,8175	0,1164	0,050
6	0,5000	87,86	8,66	100	15,8400	0,1155	0,063

1/Ce	1/qe
0,161	0,012
0,108	0,025
0,091	0,039
0,116	0,050
0,115	0,063

Powder; 110°C; Cu



$$y = ax + b$$

$$1/qe = 1/qm \cdot KL \cdot 1/Ce + 1/qm$$

$$y = -0,403x + 0,085$$

$$KL = 1/qm \cdot a \quad qm = 1/b$$

a	b
-0,403	0,085

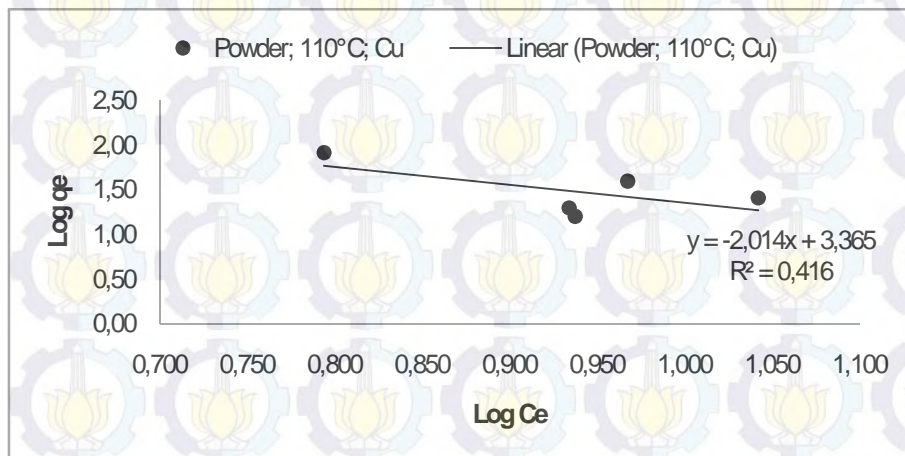
KL	qm	R ²
-0,2109	11,7647	0,272

MODEL ISOTHERM ADSORPSI FREUNDLICH Powder; 110°C; Cu

waktu (menit)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qe (mg/g)	log qe	log Ce
6	0,1000	87,86	6,22	100	81,6400	1,9119	0,794
6	0,2000	87,86	9,28	100	39,2900	1,5943	0,968
6	0,3000	87,86	11,02	100	25,6133	1,4085	1,042
6	0,4000	87,86	8,59	100	19,8175	1,2970	0,934
6	0,5000	87,86	8,66	100	15,8400	1,1998	0,938

Log Ce	Log qe
0,794	1,91
0,968	1,59
1,042	1,41
0,934	1,30
0,938	1,20

Powder; 110°C; Cu



$$y = ax + b \quad q = k C^{(1/n)}$$

$$\log q = 1/n \log c + \log k$$

$$y = -2,014x + 3,365$$

$$n=1/a \quad kf=10^b$$

a	b
-2,014	3,365

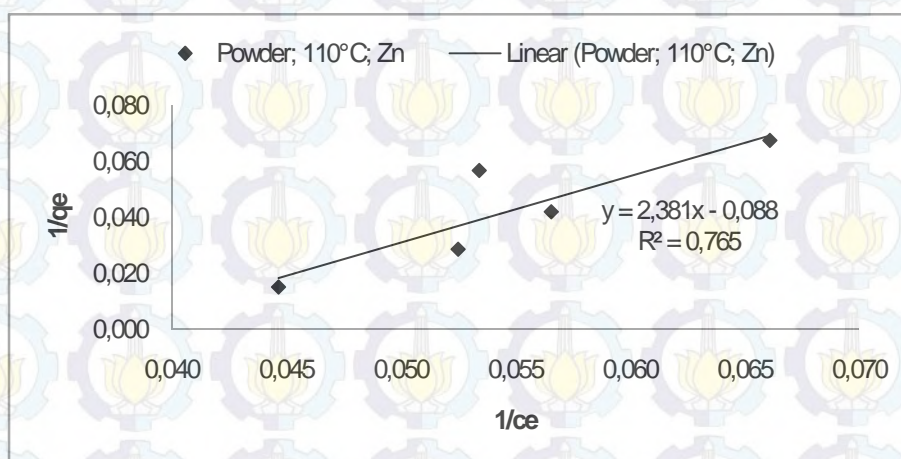
n	Kf	R ²
-0,49652	2317,395	0,35

MODEL ISOTHERM ADSORPSI LANGMUIR Powder; 110°C; Zn

waktu (jam)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qe (mg/g)	1/Ce	1/qe
6	0,1000	89,18	22,39	100	66,7900	0,0447	0,015
6	0,2000	89,18	19,05	100	35,0650	0,0525	0,029
6	0,3000	89,18	17,68	100	23,8333	0,0566	0,042
6	0,4000	89,18	18,72	100	17,6150	0,0534	0,057
6	0,5000	89,18	15,13	100	14,8100	0,0661	0,068

1/Ce	1/qe
0,045	0,015
0,052	0,029
0,057	0,042
0,053	0,057
0,066	0,068

Powder; 110°C; Zn



$$y = ax + b$$

$$1/q_e = 1/q_m \cdot KL \cdot 1/C_e + 1/q_m$$

$$y = 2,381x - 0,088$$

$$KL = 1/q_m \cdot a \quad q_m = 1/b$$

a	b
2,381	0,088

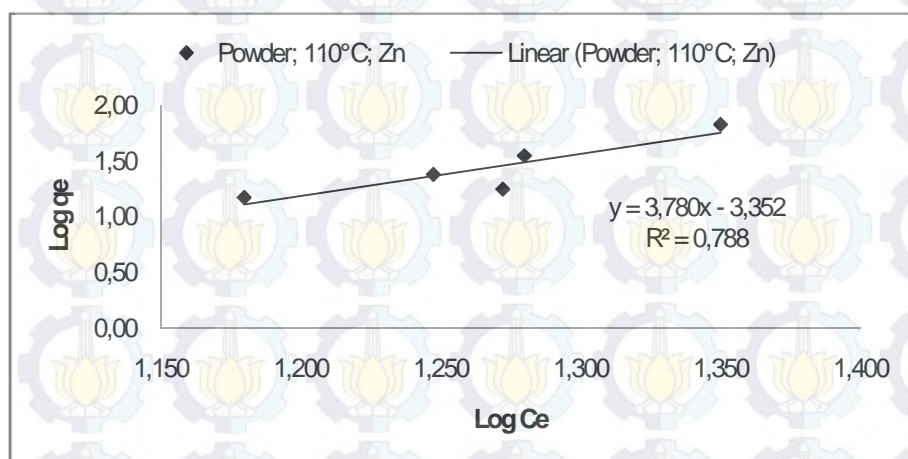
KL	qm	R ²
0,0370	11,3636	0,765

MODEL ISOTHERM ADSORPSI FREUNDLICH Powder; 110°C; Zn

waktu (menit)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qe (mg/g)	log qe	log Ce
6	0,1000	89,18	22,39	100	66,7900	1,8247	1,350
6	0,2000	89,18	19,05	100	35,0650	1,5449	1,280
6	0,3000	89,18	17,68	100	23,8333	1,3772	1,247
6	0,4000	89,18	18,72	100	17,6150	1,2459	1,272
6	0,5000	89,18	15,13	100	14,8100	1,1706	1,180

Log Ce	Log qe
1,350	1,82
1,280	1,54
1,247	1,38
1,272	1,25
1,180	1,17

Powder; 110°C; Zn



$$y = ax + b$$

$$\log q = 1/n \log c + \log k$$

$$y = 3,780x - 3,352$$

$$q = k C^{(1/n)}$$

$$n=1/a$$

$$kf=10^b$$

a	b
3,780	-3,352

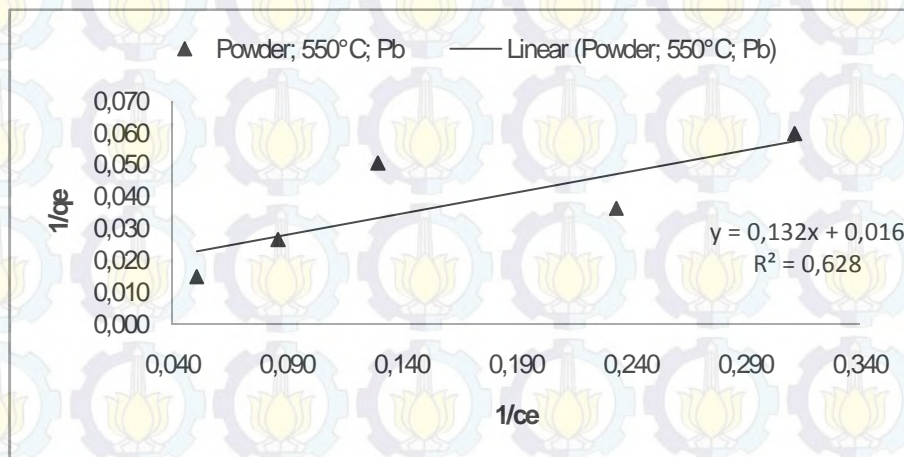
n	Kf	R ²
0,26455	0,000445	0,788

MODEL ISOTHERM ADSORPSI LANGMUIR Powder; 550°C; Pb

waktu (jam)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qe (mg/g)	1/Ce	1/qe
6	0,1000	86,88	19,77	100	67,1100	0,0506	0,015
6	0,2000	86,88	11,61	100	37,6350	0,0861	0,027
6	0,3000	86,88	4,28	100	27,5333	0,2336	0,036
6	0,4000	86,88	7,71	100	19,7925	0,1297	0,051
6	0,5000	86,88	3,21	100	16,7340	0,3115	0,060

1/Ce	1/qe
0,051	0,015
0,086	0,027
0,234	0,036
0,130	0,051
0,312	0,060

Powder; 550°C; Pb



$$y = ax + b$$

$$1/qe = 1/qm \cdot KL \cdot 1/Ce + 1/qm$$

$$y = 0,167x + 0,008$$

$$KL = 1/qm \cdot a \quad qm = 1/b$$

a	b
0,167	0,008

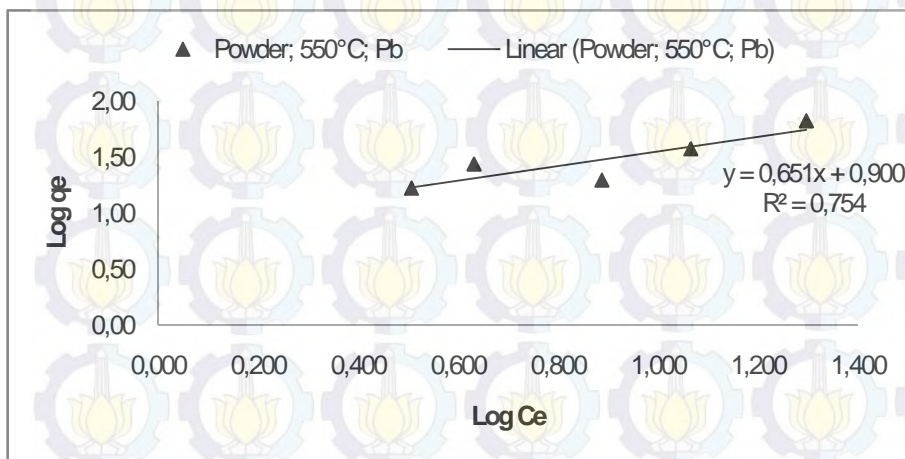
KL	qm	R ²
0,048	125	0,582

MODEL ISOTHERM ADSORPSI FREUNDLICH Powder; 550°C; Pb

waktu (menit)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qe (mg/g)	log qe	log Ce
6	0,1000	86,88	19,77	100	67,1100	1,8268	1,296
6	0,2000	86,88	11,61	100	37,6350	1,5756	1,065
6	0,3000	86,88	4,28	100	27,5333	1,4399	0,631
6	0,4000	86,88	7,71	100	19,7925	1,2965	0,887
6	0,5000	86,88	3,21	100	16,7340	1,2236	0,507

Log Ce	Log qe
1,296	1,83
1,065	1,58
0,631	1,44
0,887	1,30
0,507	1,22

Powder; 550°C; Pb



$$y = ax + b$$

$$q = k C^{(1/n)}$$

$$\log q = 1/n \log c + \log k$$

$$y = 1,356x + 0,175$$

$$n=1/a$$

$$kf=10^b$$

a	b
1,356	0,175

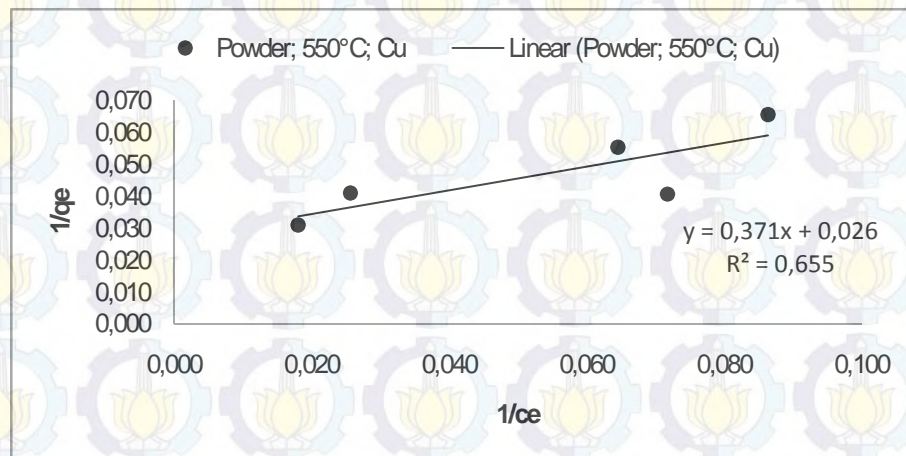
n	Kf	R ²
0,737	1,496	0,893

MODEL ISOTHERM ADSORPSI LANGMUIR Powder; 550°C; Cu

waktu (jam)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qe (mg/g)	1/Ce	1/qe
6	0,1000	87,86	55,48	100	32,3800	0,0180	0,031
6	0,2000	87,86	39,01	100	24,4250	0,0256	0,041
6	0,3000	87,86	13,94	100	24,6400	0,0717	0,041
6	0,4000	87,86	15,50	100	18,0900	0,0645	0,055
6	0,5000	87,86	11,58	100	15,2560	0,0864	0,066

1/Ce	1/qe
0,018	0,031
0,026	0,041
0,072	0,041
0,065	0,055
0,086	0,066

Powder; 550°C; Cu



$$y = ax + b$$

$$1/qe = 1/qm \cdot KL \cdot 1/Ce + 1/qm$$

$$y = 0,002x + 0,031$$

$$KL = 1/qm \cdot a \quad qm = 1/b$$

a	b
0,371	0,026

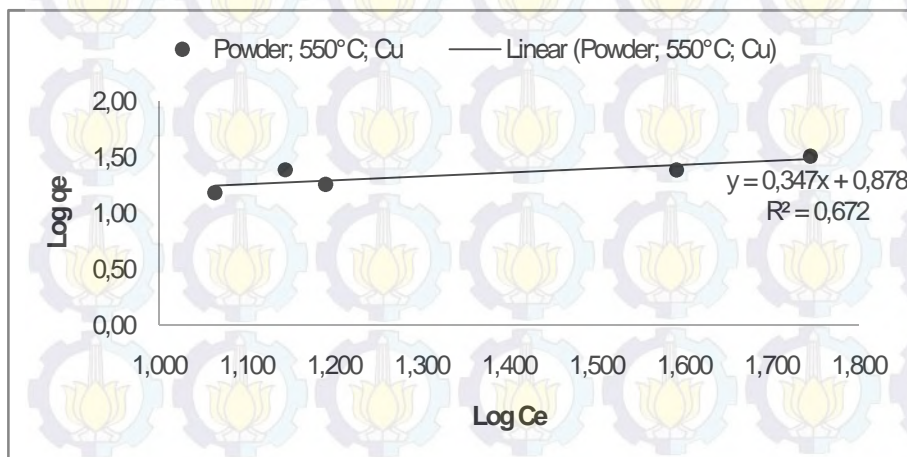
KL	qm	R ²
0,0701	38,462	0,655

MODEL ISOTHERM ADSORPSI FREUNDLICH Powder; 550°C; Cu

waktu (menit)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qe (mg/g)	log qe	log Ce
6	0,1000	87,86	55,48	100	32,3800	1,5103	1,744
6	0,2000	87,86	39,01	100	24,4250	1,3878	1,591
6	0,3000	87,86	13,94	100	24,6400	1,3916	1,144
6	0,4000	87,86	15,50	100	18,0900	1,2574	1,190
6	0,5000	87,86	11,58	100	15,2560	1,1834	1,064

Log Ce	Log qe
1,744	1,51
1,591	1,39
1,144	1,39
1,190	1,26
1,064	1,18

Powder; 550°C; Cu



$$y = ax + b$$

$$q = k C^{(1/n)}$$

$$\log q = 1/n \log c + \log k$$

$$y = 1,415x - 1,872$$

$$n=1/a$$

$$kf=10^b$$

a	b
0,347	0,878

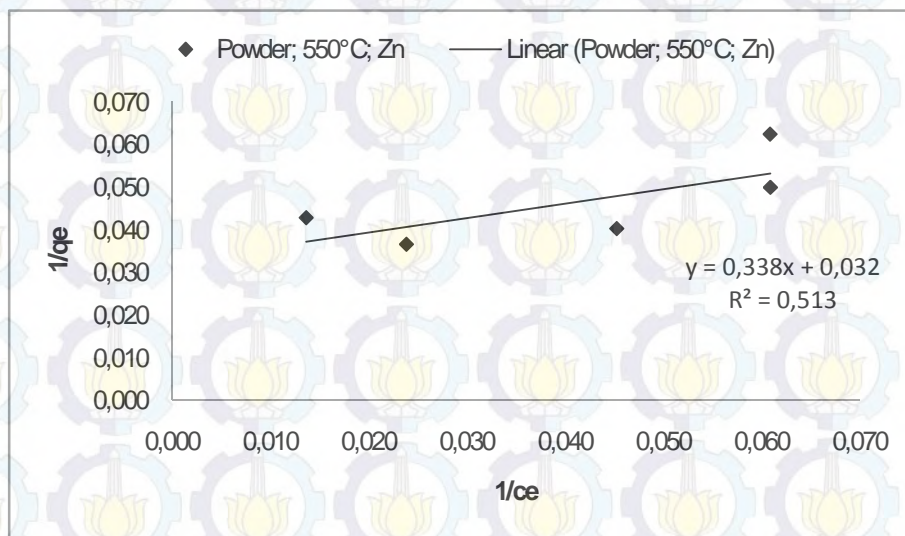
n	Kf	R ²
2,882	7,551	0,672

MODEL ISOTHERM ADSORPSI LANGMUIR Powder; 550°C; Zn

waktu (jam)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qe (mg/g)	1/Ce	1/qe
6	0,1000	96,65	73,275	100	23,3750	0,0136	0,043
6	0,2000	96,65	41,936	100	27,3570	0,0238	0,037
6	0,3000	96,65	22,103	100	24,8490	0,0452	0,040
6	0,4000	96,65	16,423	100	20,0568	0,0609	0,050
6	0,5000	96,65	16,434	100	16,0432	0,0608	0,062

1/Ce	1/qe
0,014	0,043
0,024	0,037
0,045	0,040
0,061	0,050
0,061	0,062

Powder; 550°C; Zn



$$y = ax + b$$

$$1/qe = 1/qm \cdot KL \cdot 1/Ce + 1/qm$$

$$y = 0,338x + 0,032$$

$$KL =$$

$$1/qm \cdot a \quad qm = 1/b$$

a	b
0,338	0,032

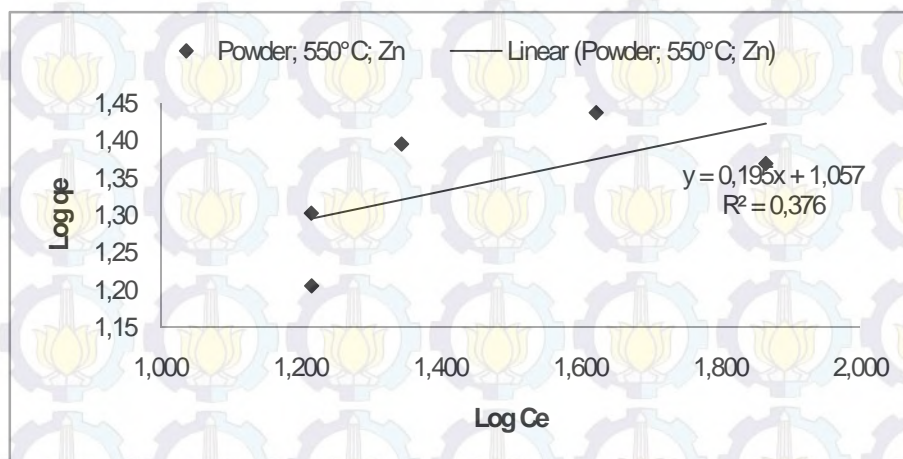
KL	qm	R ²
0,095	31,250	0,513

MODEL ISOTHERM ADSORPSI FREUNDLICH Powder; 550°C; Zn

waktu (menit)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qe (mg/g)	log qe	log Ce
6	0,1000	96,65	73,275	100	23,3750	1,3688	1,865
6	0,2000	96,65	41,936	100	27,3570	1,4371	1,623
6	0,3000	96,65	22,103	100	24,8490	1,3953	1,344
6	0,4000	96,65	16,423	100	20,0568	1,3023	1,215
6	0,5000	96,65	16,434	100	16,0432	1,2053	1,216

Log Ce	Log qe
1,865	1,37
1,623	1,44
1,344	1,40
1,215	1,30
1,216	1,21

Powder; 550°C;
Zn



$$y = ax + b$$

$$q = k C^{(1/n)}$$

$$\log q = 1/n \log c + \log k$$

$$y = 0,195x + 1,057$$

$$n = 1/a \quad kf = 10^b$$

a	b
0,195	1,057

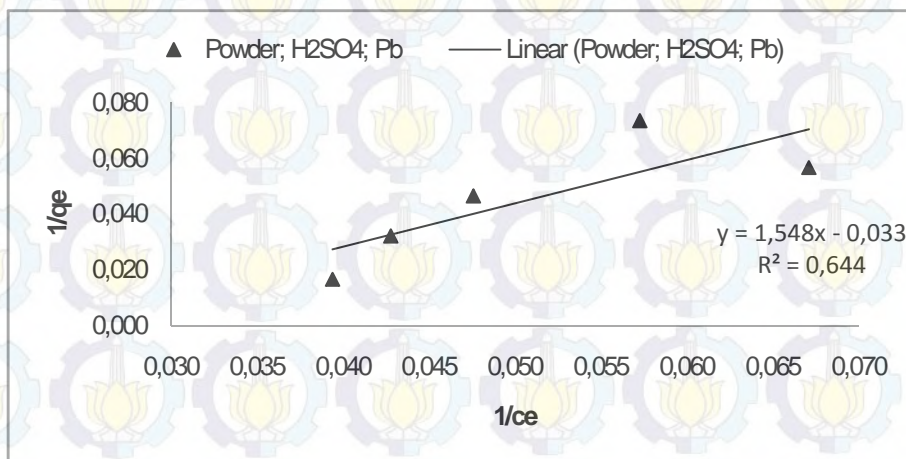
n	Kf	R ²
5,128	11,402	0,376

MODEL ISOTHERM ADSORPSI LANGMUIR Powder; H₂SO₄; Pb

waktu (jam)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qe (mg/g)	1/Ce	1/qe
6	0,1000	85,735	25,38	100	60,3550	0,0394	0,017
6	0,2000	85,735	23,37	100	31,1825	0,0428	0,032
6	0,3000	85,735	21,01	100	21,5750	0,0476	0,046
6	0,4000	85,735	14,9	100	17,7088	0,0671	0,056
6	0,5000	85,735	17,46	100	13,6550	0,0573	0,073

1/Ce	1/qe
0,039	0,017
0,043	0,032
0,048	0,046
0,067	0,056
0,057	0,073

Powder; H₂SO₄; Pb



$$y = ax + b$$

$$1/q_e = 1/q_m \cdot K_L \cdot 1/C_e + 1/q_m$$

$$y = 1,548x - 0,033$$

$$K_L = 1/q_m \cdot a \quad q_m = 1/b$$

a	b
1,548	0,033

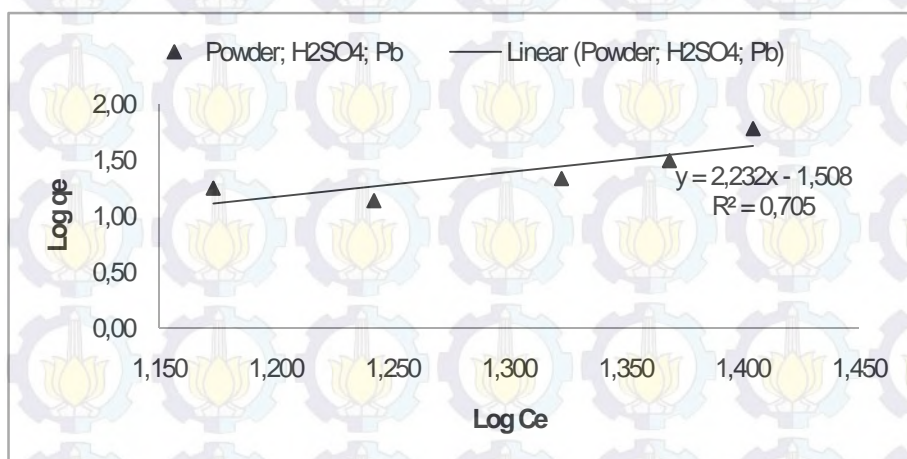
K _L	q _m	R ²
0,0213	30,3030	0,644

MODEL ISOTHERM ADSORPSI FREUNDLICH Powder; H2SO4; Pb

waktu (menit)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qe (mg/g)	log qe	log Ce
6	0,1000	85,735	25,38	100	60,3550	1,7807	1,404
6	0,2000	85,735	23,37	100	31,1825	1,4939	1,369
6	0,3000	85,735	21,01	100	21,5750	1,3340	1,322
6	0,4000	85,735	14,9	100	17,7088	1,2482	1,173
6	0,5000	85,735	17,46	100	13,6550	1,1353	1,242

Log Ce	Log qe
1,404	1,78
1,369	1,49
1,322	1,33
1,173	1,25
1,242	1,14

Powder; H2SO4;
Pb



$$y = ax + b$$

$$\log q = 1/n \log c + \log k$$

$$y = 0,001x + 1,581$$

$$q = k C^{(1/n)}$$

$n=1/a$	$kf=10^b$
a	b
2,232	-1,508

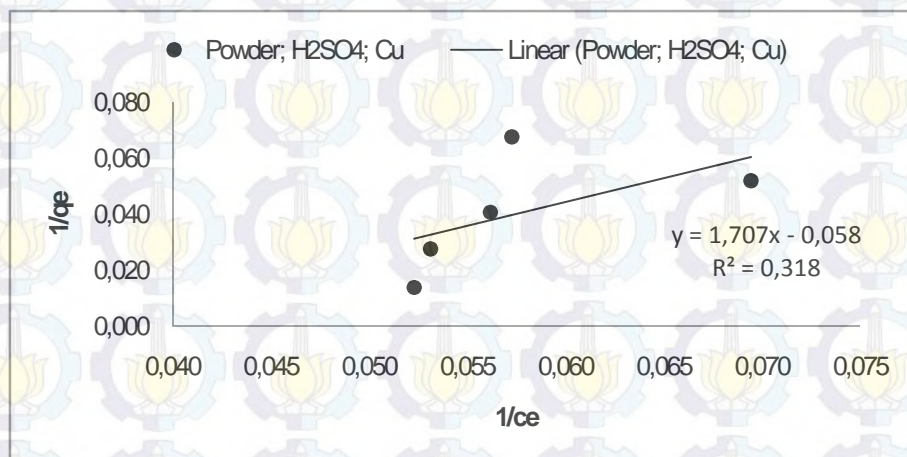
n	Kf	R ²
0,448	0,031	0,705

MODEL ISOTHERM ADSORPSI LANGMUIR Powder; H₂SO₄; Cu

waktu (jam)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qe (mg/g)	1/Ce	1/qe
6	0,1000	91,525	19,12	100	72,4050	0,0523	0,014
6	0,2000	91,525	18,82	100	36,3525	0,0531	0,028
6	0,3000	91,525	17,8	100	24,5750	0,0562	0,041
6	0,4000	91,525	14,4	100	19,2813	0,0694	0,052
6	0,5000	91,525	17,46	100	14,8130	0,0573	0,068

1/Ce	1/qe
0,052	0,014
0,053	0,028
0,056	0,041
0,069	0,052
0,057	0,068

Powder; H₂SO₄;
Cu



$$y = ax + b$$

$$1/qe = 1/qm \cdot KL \cdot 1/Ce + 1/qm$$

$$y = 1,707x - 0,058$$

$$KL = 1/qm \cdot a \quad qm = 1/b$$

a	b
1,707	0,058

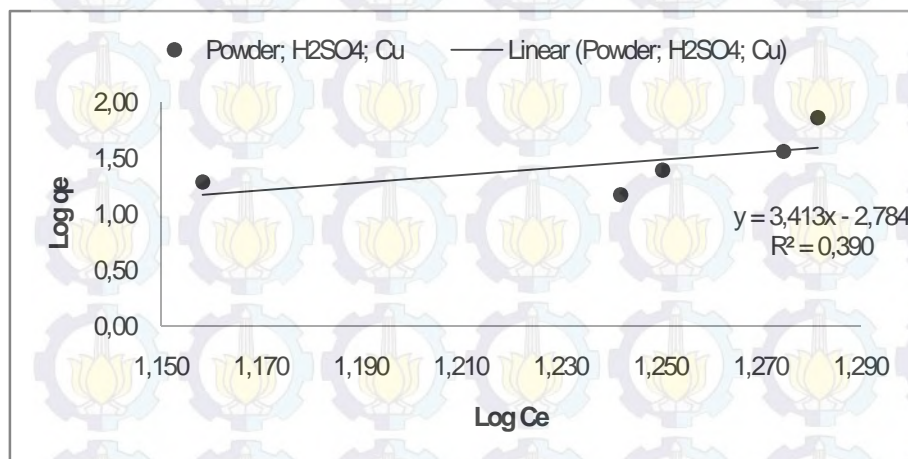
KL	qm	R ²
0,034	17,241	0,318

MODEL ISOTHERM ADSORPSI FREUNDLICH Powder; H2SO4; Cu

waktu (menit)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qe (mg/g)	log qe	log Ce
6	0,1000	91,525	19,12	100	72,4050	1,8598	1,281
6	0,2000	91,525	18,82	100	36,3525	1,5605	1,275
6	0,3000	91,525	17,8	100	24,5750	1,3905	1,250
6	0,4000	91,525	14,4	100	19,2813	1,2851	1,158
6	0,5000	91,525	17,46	100	14,8130	1,1706	1,242

Log Ce	Log qe
1,281	1,86
1,275	1,56
1,250	1,39
1,158	1,29
1,242	1,17

Powder; H2SO4;
Cu



$$y = ax + b$$

$$\log q = 1/n \log c + \log k$$

$$y = 3,413x - 2,784$$

$$n = 1/a$$

$$kf = 10^b$$

a	b
3,413	2,784

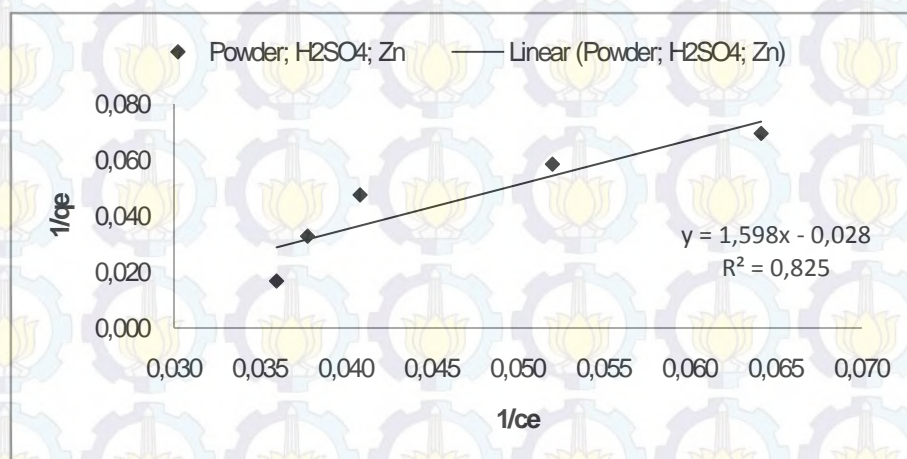
n	Kf	R ²
0,293	608,135	0,39

MODEL ISOTHERM ADSORPSI LANGMUIR Powder; H₂SO₄; Zn

waktu (jam)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qe (mg/g)	1/Ce	1/qe
6	0,1000	87,59	27,79	100	59,8000	0,0360	0,017
6	0,2000	87,59	26,46	100	30,5650	0,0378	0,033
6	0,3000	87,59	24,49	100	21,0333	0,0408	0,048
6	0,4000	87,59	19,22	100	17,0925	0,0520	0,059
6	0,5000	87,59	15,585	100	14,4010	0,0642	0,069

1/Ce	1/qe
0,036	0,017
0,038	0,033
0,041	0,048
0,052	0,059
0,064	0,069

Powder; H₂SO₄; Zn



$$y = ax + b$$

$$1/q_e = 1/q_m \cdot K_L \cdot 1/C_e + 1/q_m$$

$$y = 1,598x - 0,028$$

$$K_L =$$

$$1/q_m \cdot a$$

$$q_m = 1/b$$

a	b
1,598	0,028

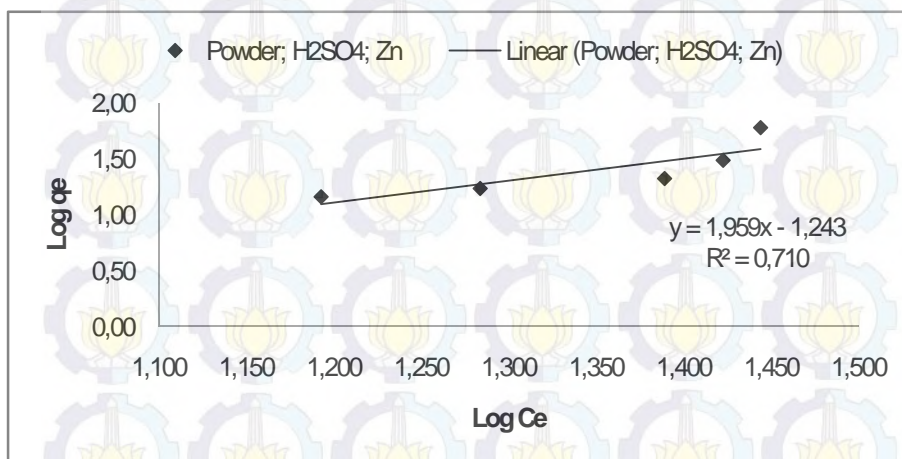
KL	qm	R ²
0,018	35,714	0,825

MODEL ISOTHERM ADSORPSI FREUNDLICH Powder; H2SO4; Zn

waktu (menit)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qe (mg/g)	log qe	log Ce
6	0,1000	87,59	27,79	100	59,8000	1,7767	1,444
6	0,2000	87,59	26,46	100	30,5650	1,4852	1,423
6	0,3000	87,59	24,49	100	21,0333	1,3229	1,389
6	0,4000	87,59	19,22	100	17,0925	1,2328	1,284
6	0,5000	87,59	15,585	100	14,4010	1,1584	1,193

Log Ce	Log qe
1,444	1,78
1,423	1,49
1,389	1,32
1,284	1,23
1,193	1,16

Powder; H2SO4;
Zn



$$y = ax + b$$

$$q = k C^{(1/n)}$$

$$\log q = 1/n \log c + \log k$$

$$y = 1,959x - 1,243$$

$$n = 1/a$$

$$kf = 10^b$$

a	b
1,959	1,243

n	Kf	R ²
0,510	17,498	0,71

Lampiran 4. Perhitungan Kinetika Adsorpsi

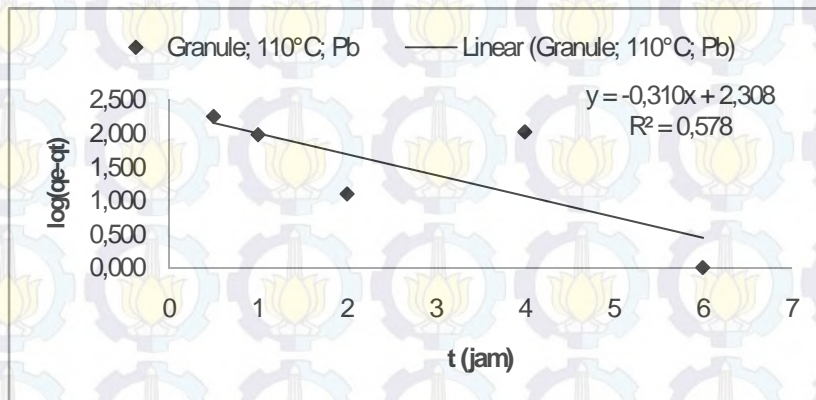
MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE SATU Granule; 110°C; Pb

t (jam)	Co (mg/l)	Ce setimbang (mg/l)	massa (g)	V(ml)	qe (mg/g)
6,00	89,835	6,42	0,3002	100	27,7865

t (jam)	Co	Ce	V	qt (mg/g)	ln(qe-qt)
0,5	89,835	34,94	100	18,292	2,251
1	89,835	28,11	100	20,548	1,979
2	89,835	15,275	100	24,787	1,098
4	89,835	28,93	100	20,254	2,019
6	89,835	6,42	100	27,786	#NUM!

t (jam)	log(qe-qt)
0,5	2,251
1	1,979
2	1,098
4	2,019
6	#NUM!

Granule; 110°C; Pb



$$y = ax + b$$

$$\log (q_e - q_t) = - (k_1/2,303) t + \log q_e$$

$$y = -0,3101x + 2,308$$

a	b
-0,31	2,308

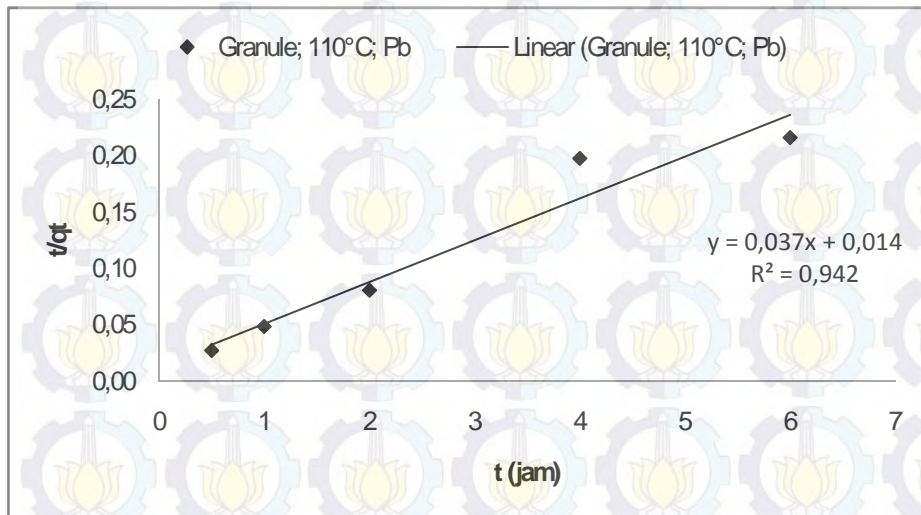
k1 (/menit)	qe	R ²
0,714	203,236	0,5780

MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE DUA Granule; 110°C; Pb

t (jam)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qt (mg/g)	t/qt
0,5	0,3001	89,835	34,94	100	18,2922	0,0273
1	0,3004	89,835	28,11	100	20,5476	0,0487
2	0,3008	89,835	15,275	100	24,7872	0,0807
4	0,3007	89,835	28,93	100	20,2544	0,1975
6	0,3002	89,835	6,42	100	27,7865	0,2159

t (jam)	t/qt
0,5	0,03
1	0,05
2	0,08
4	0,20
6	0,22

Granule; 110°C; Pb



$$y = ax + b$$

$$t/qt = 1/q_e t + 1/k_2 q_e^2$$

$$y = 0,037x + 0,014$$

a	b
0,037	0,014

qe (mg/g)	k2 (g/mg.menit)	R ²
27,027	0,098	0,942

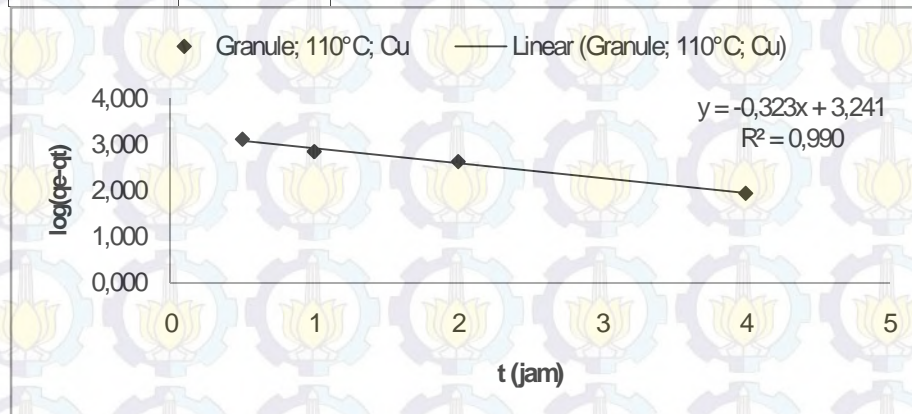
MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE SATU Granule; 110°C; Cu

t (jam)	Co (mg/l)	Ce setimbang (mg/l)	massa (g)	V(ml)	qe (mg/g)
6,00	93,95	11,58	0,3007	100	27,3911

t (jam)	Co	Ce	V	qt (mg/g)	ln(qe-qt)
0,5	93,945	79,52	100	4,796	3,118
1	93,945	63,555	100	10,117	2,849
2	93,945	53,36	100	13,501	2,631
4	93,945	32,52	100	20,414	1,943
6	93,945	11,58	100	27,391	#NUM!

t (jam)	log(qe-qt)
0,5	3,118
1	2,849
2	2,631
4	1,943

Granule; 110°C; Cu



$$y = ax + b$$

$$\log (q_e - q_t) = - (k_1/2,303) t + \log q_e$$

$$y = -0,323x + 3,241$$

a	b
-0,323	3,241

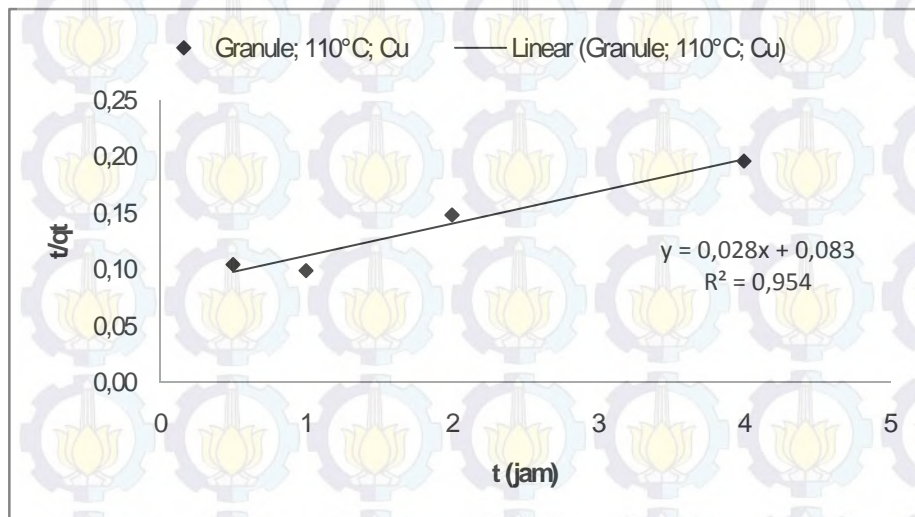
k1 (/menit)	qe	R ²
0,744	1741,807	0,990

MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE DUA Granule; 110°C; Cu

t (jam)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qt (mg/g)	t/qt
0,5	0,3008	93,945	79,52	100	4,7955	0,1043
1	0,3004	93,945	63,555	100	10,1165	0,0988
2	0,3006	93,945	53,36	100	13,5013	0,1481
4	0,3009	93,945	32,52	100	20,4138	0,1959
6	0,3007	93,945	11,58	100	27,3911	0,2190

t (jam)	t/qt
0,5	0,10
1	0,10
2	0,15
4	0,20

Granule; 110°C;
Cu



$$y = ax + b$$

$$t/qt = 1/q_e t + 1/k_2 q_e^2$$

$$y = 0,028x + 0,083$$

a	b
0,028	0,083

qe (mg/g)	k2 (g/mg.menit)	R^2
35,714	0,009	0,954

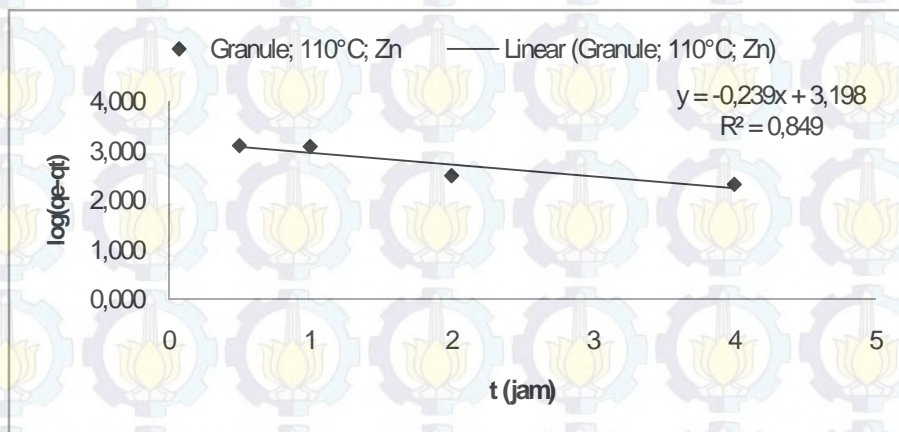
MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE SATU Granule; 110°C; Zn

t (jam)	Co (mg/l)	Ce setimbang (mg/l)	massa (g)	V(ml)	qe (mg/g)
6,00	93,28	1,34	0,3008	100	30,5652

t (jam)	Co	Ce	V	qt (mg/g)	ln(qe-qt)
0,5	93,28	68,27	100	8,326	3,102
1	93,28	67,005	100	8,750	3,083
2	93,28	37,885	100	18,459	2,494
4	93,28	32,095	100	20,388	2,320
6	93,28	1,34	100	30,565	#NUM!

t (menit)	log(qe-qt)
0,5	3,102
1	3,083
2	2,494
4	2,320

Granule; 110°C; Zn



$$y = ax + b$$

$$\log (qe-qt) = - (k1/2,303) t + \log qe$$

$$y = -0,239x + 3,198$$

a	b
-0,239	3,198

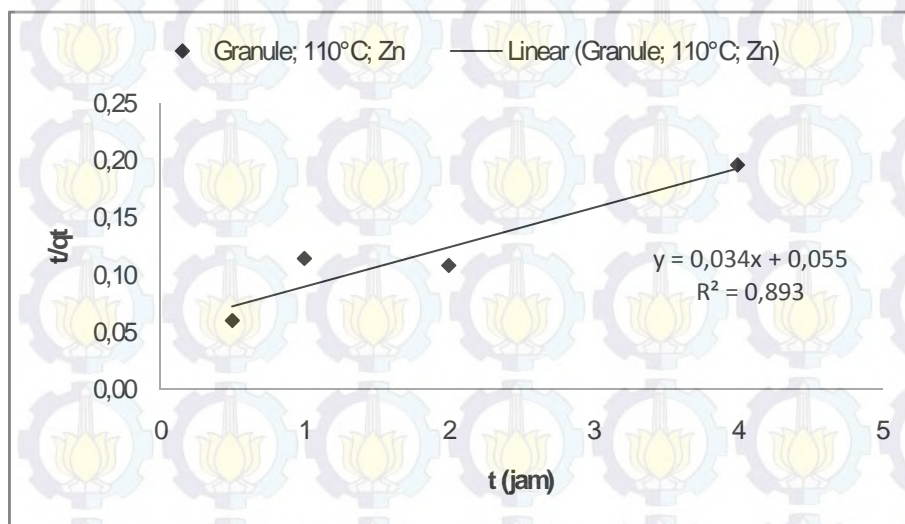
k1 (/menit)	qe	R^2
0,550	1577,611	0,849

MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE DUA Granule; 110°C; Zn

t (jam)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qt (mg/g)	t/qt
0,5	0,3004	93,28	68,27	100	8,3256	0,0601
1	0,3003	93,28	67,005	100	8,7496	0,1143
2	0,3001	93,28	37,885	100	18,4588	0,1083
4	0,3001	93,28	32,095	100	20,3882	0,1962
6	0,3008	93,28	1,34	100	30,5652	0,1963

t (jam)	t/qt
0,5	0,06
1	0,11
2	0,11
4	0,20

Granule; 110°C;
Zn



$$y = ax + b$$

$$t/qt = 1/qe t + 1/k_2 qe^2$$

$$y = 0,034x + 0,055$$

a	b
0,034	0,055

qe (mg/g)	k2 (g/mg.menit)	R ²
29,412	0,021	0,893

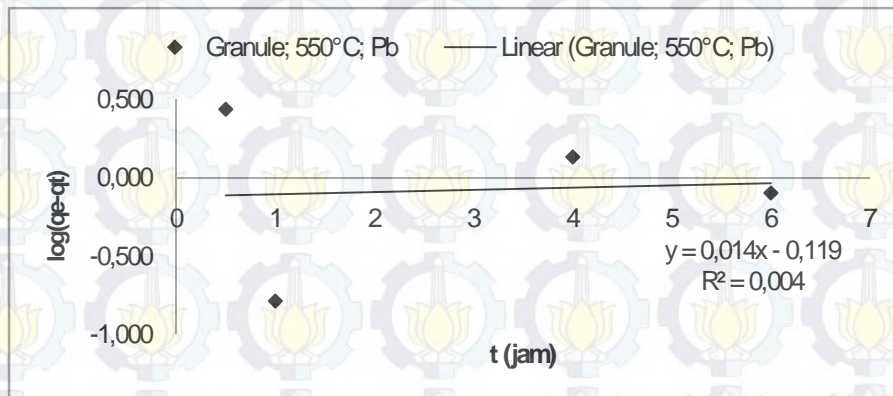
MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE SATU Granule; 550°C; Pb

t (jam)	Co (mg/l)	Ce setimbang (mg/l)	massa (g)	V(ml)	qe (mg/g)
6,00	85,74	10,91	0,3000	100	24,9433

t (jam)	Co	Ce	V	qt (mg/g)	ln(qe-qt)
0,5	85,74	15,55	100	23,395	0,437
1	85,74	12,27	100	24,488	-0,787
2	85,74	10,91	100	24,943	#NUM!
4	85,74	14,19	100	23,802	0,132
6	85,74	13,41	100	24,036	-0,097

t (menit)	log(qe-qt)
0,5	0,437
1	-0,787
4	0,132
6	-0,097

Granule; 550°C; Pb



$$y = ax + b$$

$$\log (q_e - q_t) = - (k_1/2,303) t + \log q_e$$

$$y = 0,014x - 0,119$$

a	b
0,014	-0,119

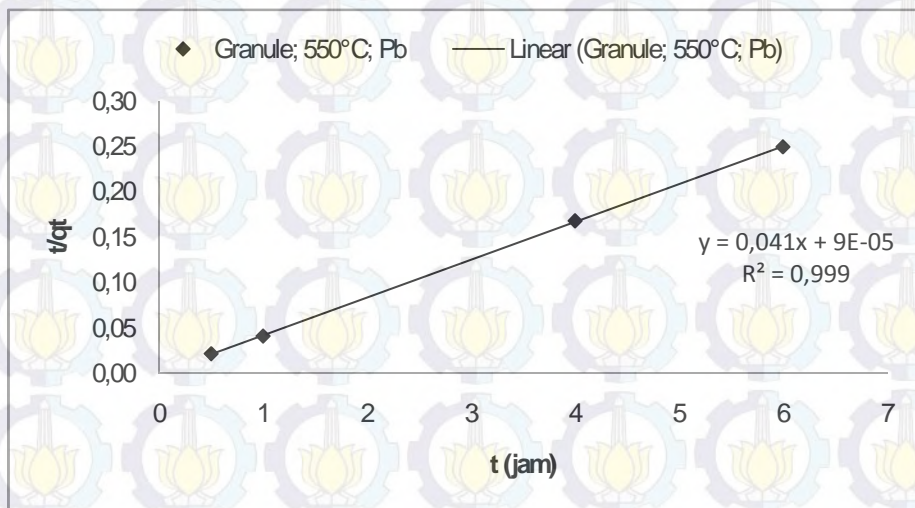
k1 (/menit)	qe	R ²
-0,0322	0,7603	0,004

MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE DUA Granule; 550°C; Pb

t (jam)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qt (mg/g)	t/qt
0,5	0,3000	85,74	15,55	100	23,3950	0,0214
1	0,3000	85,74	12,27	100	24,4883	0,0408
2	0,3000	85,74	10,905	100	24,9433	0,0802
4	0,3006	85,74	14,185	100	23,8024	0,1681
6	0,3009	85,74	13,41	100	24,0362	0,2496

t (jam)	t/qt
0,5	0,02
1	0,04
4	0,17
6	0,25

Granule; 550°C; Pb



$$y = ax + b$$

$$t/qt = 1/q_e t + 1/k_2 q_e^2$$

$$y = 0,041x + 0,00009$$

a	b
0,041	0,00009

qe (mg/g)	k2 (g/mg.menit)	R ²
24,390	18,678	0,999

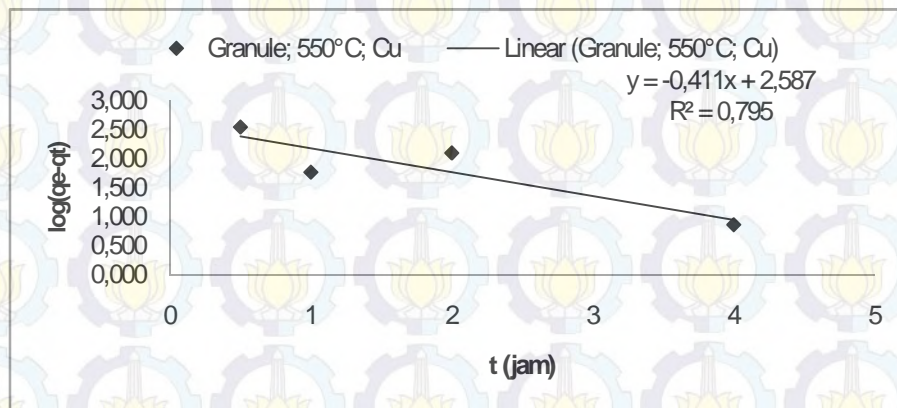
MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE SATU Granule; 550°C; Cu

t (jam)	Co (mg/l)	Ce setimbang (mg/l)	massa (g)	V(ml)	qe (mg/g)
6,00	91,53	19,38	0,3000	100	24,0483

t (jam)	Co	Ce	V	qt (mg/g)	ln(qe-qt)
0,5	91,53	57,52	100	11,303	2,545
1	91,53	36,75	100	18,204	1,766
2	91,53	43,74	100	15,909	2,097
4	91,53	26,30	100	21,686	0,860
6	91,53	19,38	100	24,048	#NUM!

t (menit)	log(qe-qt)
0,5	2,545
1	1,766
2	2,097
4	0,860

Granule; 550°C; Cu



$$y = ax + b$$

$$\log (q_e - q_t) = - (k_1/2,303) t + \log q_e$$

$$y = -0,411x + 2,587$$

a	b
-0,411	2,5877

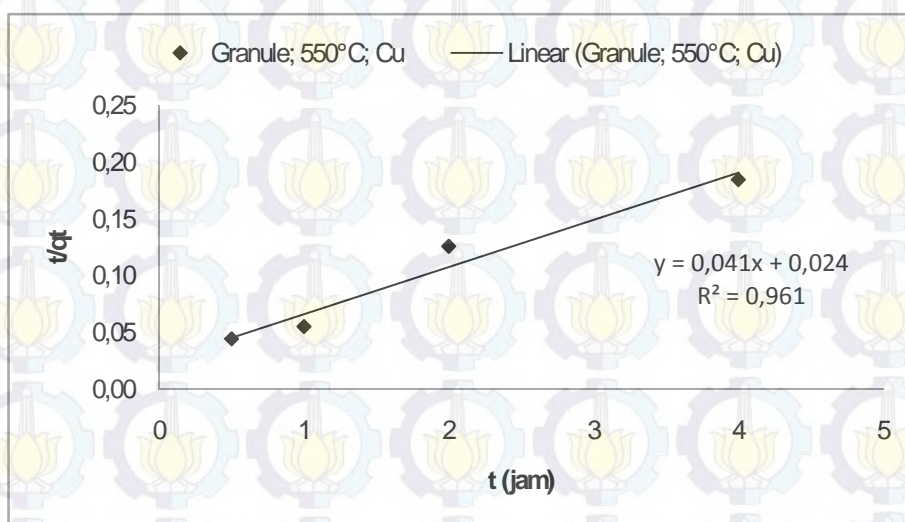
k1 (/menit)	qe	R ²
0,946	386,990	0,795

MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE DUA Granule; 550°C; Cu

t (jam)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qt (mg/g)	t/qt
0,5	0,3009	91,53	57,515	100	11,3028	0,0442
1	0,3009	91,53	36,75	100	18,2037	0,0549
2	0,3004	91,53	43,735	100	15,9088	0,1257
4	0,3008	91,53	26,295	100	21,6855	0,1845
6	0,3000	91,53	19,38	100	24,0483	0,2495

t (jam)	t/qt
0,5	0,04
1	0,05
2	0,13
4	0,18

Granule; 550°C;
Cu



$$y = ax + b$$

$$t/qt = 1/qe t + 1/k_2 qe^2$$

$$y = 0,041x + 0,024$$

a	b
0,041	0,024

qe (mg/g)	k2 (g/mg.menit)	R ²
24,390	0,070	0,961

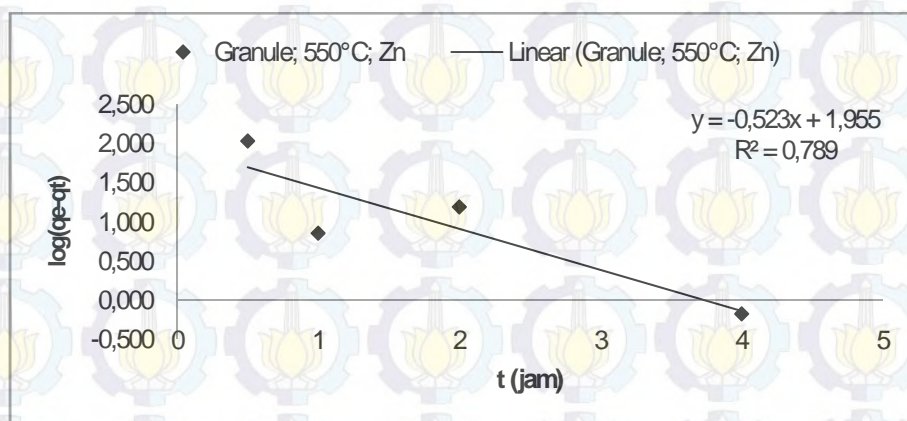
MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE SATU Granule; 550°C; Zn

t (jam)	Co (mg/l)	Ce setimbang (mg/l)	massa (g)	V(ml)	qe (mg/g)
6,00	87,59	28,85	0,3002	100	19,5670

t (jam)	Co	Ce	V	qt (mg/g)	ln(qe-qt)
0,5	87,59	51,67	100	11,957	2,029
1	87,59	35,92	100	17,218	0,854
2	87,59	38,68	100	16,287	1,188
4	87,59	31,24	100	18,727	-0,175
6	87,59	28,85	100	19,567	#NUM!

t (menit)	log(qe-qt)
0,5	2,029
1	0,854
2	1,188
4	-0,175

Granule; 550°C; Zn



$$y = ax + b$$

$$\log (q_e - q_t) = - (k_1/2,303) t + \log q_e$$

$$y = -0,523x + 1,955$$

a	b
-0,523	1,955

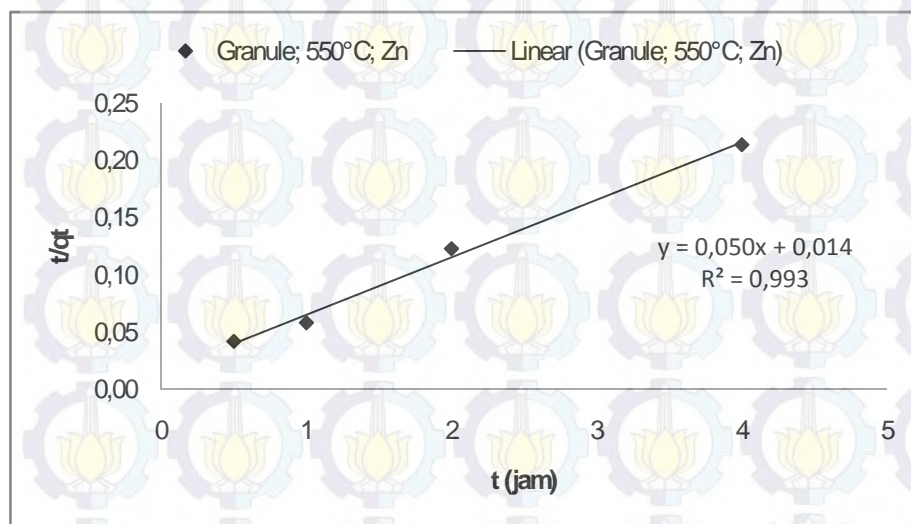
k1 (/menit)	qe	R^2
1,204	90,157	0,789

MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE DUA Granule; 550°C; Zn

t (jam)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qt (mg/g)	t/qt
0,5	0,3004	87,59	51,67	100	11,9574	0,0418
1	0,3001	87,59	35,92	100	17,2176	0,0581
2	0,3003	87,59	38,68	100	16,2870	0,1228
4	0,3009	87,59	31,24	100	18,7272	0,2136
6	0,3002	87,59	28,85	100	19,5670	0,3066

t (jam)	t/qt
0,5	0,04
1	0,06
2	0,12
4	0,21

Granule; 550°C;
Zn



$$y = ax + b$$

$$t/qt = 1/q_e t + 1/k_2 q_e^2$$

$$y = 0,050x + 0,014$$

a	b
0,05	0,014

qe (mg/g)	k2 (g/mg.menit)	R ²
20,000	0,179	0,993

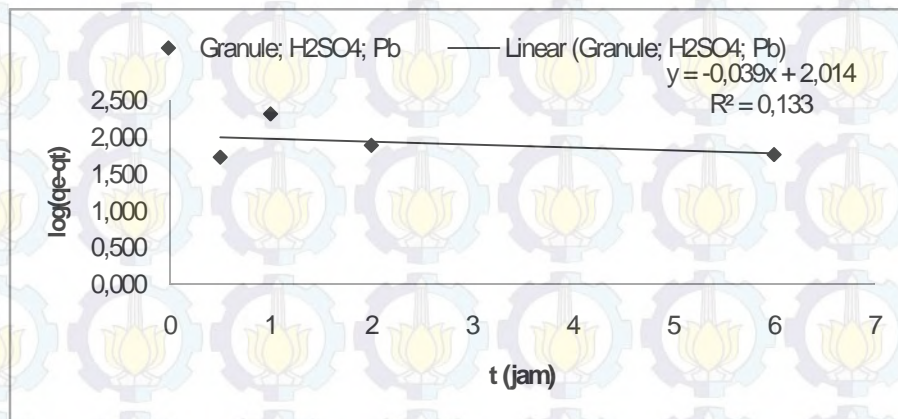
MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE SATU Granule; H2SO4; Pb

t (jam)	Co (mg/l)	Ce setimbang (mg/l)	massa (g)	V(ml)	qe (mg/g)
6,00	89,84	13,74	0,3009	100	25,2908

t (jam)	Co	Ce	V	qt (mg/g)	ln(qe-qt)
0,5	89,84	30,62	100	19,679	1,725
1	89,84	44,23	100	15,188	2,313
2	89,84	33,58	100	18,703	1,885
4	89,84	13,74	100	25,291	#NUM!
6	89,84	31,28	100	19,473	1,761

t (menit)	log(qe-qt)
0,5	1,725
1	2,313
2	1,885
6	1,761

Granule; H2SO4; Pb



$$y = ax + b$$

$$\log (qe-qt) = - (k1/2,303) t + \log qe$$

$$y = -0,039x + 2,014$$

a	b
-0,039	2,014

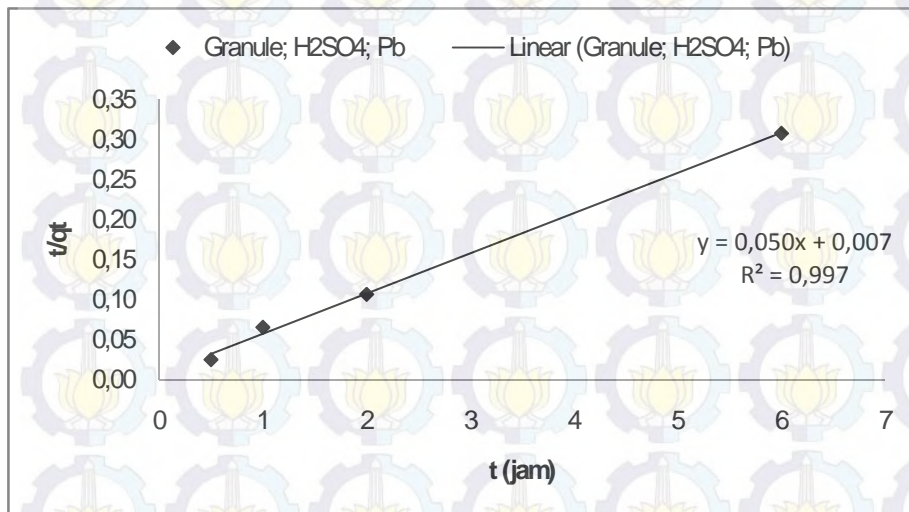
k1 (/menit)	qe	R^2
0,0898	103,2761	0,1330

MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE DUA Granule; H2SO4; Pb

t (jam)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qt (mg/g)	t/qt
0,5	0,3009	89,84	30,62	100	19,6793	0,0254
1	0,3003	89,84	44,225	100	15,1881	0,0658
2	0,3008	89,84	33,575	100	18,7035	0,1069
4	0,3009	89,84	13,735	100	25,2908	0,1582
6	0,3007	89,84	31,28	100	19,4729	0,3081

t (jam)	t/qt
0,5	0,03
1	0,07
2	0,11
6	0,31

Granule; H2SO4;
Pb



$$y = ax + b$$

$$t/qt = 1/qe t + 1/k_2 qe^2$$

$$y = 0,050x + 0,007$$

a	b
0,05	0,007

qe (mg/g)	k2 (g/mg.menit)	R ²
20,0000	0,3571	0,997

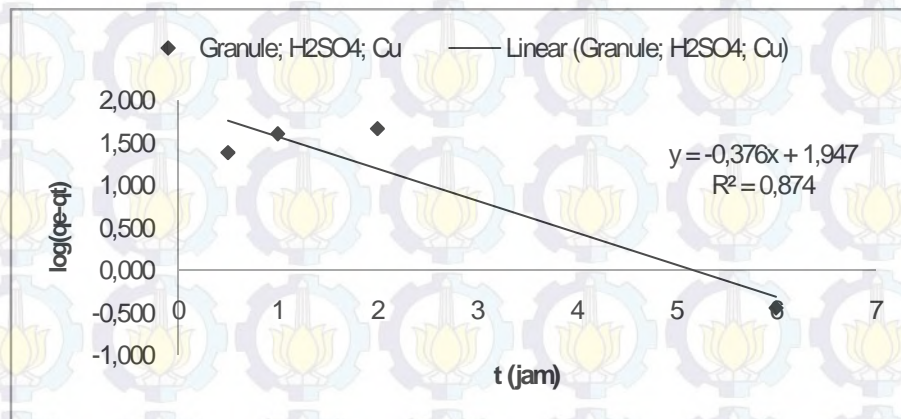
MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE SATU Granule; H2SO4; Cu

t (jam)	Co (mg/l)	Ce setimbang (mg/l)	massa (g)	V(ml)	qe (mg/g)
6,00	93,95	68,39	0,3007	100	8,5002

t (jam)	Co	Ce	V	qt (mg/g)	ln(qe-qt)
0,5	93,95	80,40	100	4,509	1,384
1	93,95	83,34	100	3,527	1,604
2	93,95	84,32	100	3,210	1,666
4	93,95	68,39	100	8,500	#NUM!
6	93,95	70,31	100	7,860	-0,446

t (menit)	log(qe-qt)
0,5	1,384
1	1,604
2	1,666
6	-0,446

Granule; H2SO4; Cu



$$y = ax + b$$

$$\log (qe-qt) = - (k_1/2,303) t + \log qe$$

$$y = -0,376x + 1,947$$

a	b
-0,376	1,947

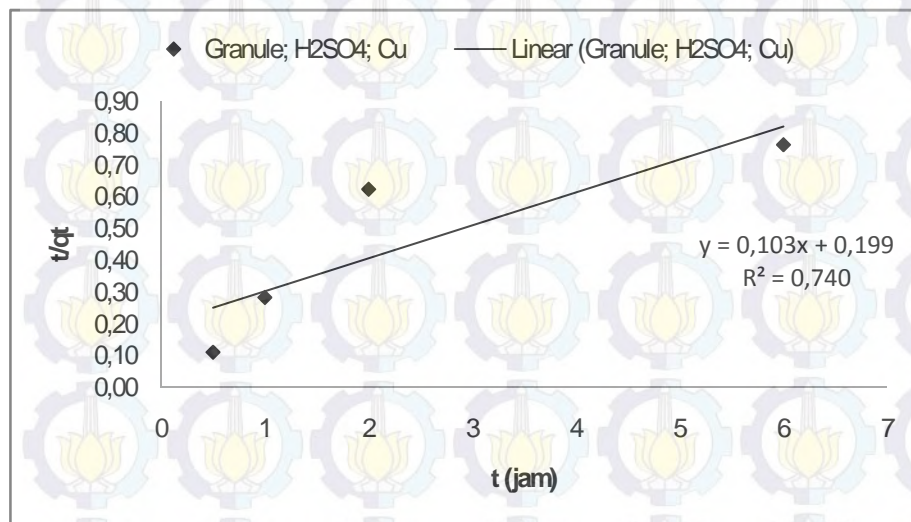
k1 (/menit)	qe	R^2
0,866	88,512	0,874

MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE DUA Granule; H2SO4; Cu

t (jam)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qt (mg/g)	t/qt
0,5	0,3004	93,95	80,4	100	4,5090	0,1109
1	0,3008	93,95	83,335	100	3,5273	0,2835
2	0,3000	93,95	84,315	100	3,2100	0,6231
4	0,3007	93,95	68,385	100	8,5002	0,4706
6	0,3007	93,95	70,31	100	7,8600	0,7634

t (jam)	t/qt
0,5	0,11
1	0,28
2	0,62
6	0,76

Granule; H2SO4;
Cu



$$y = ax + b$$

$$t/qt = 1/q_e t + 1/k_2 q_e^2$$

$$y = 0,103x + 0,199$$

a	b
0,103	0,199

qe (mg/g)	k2 (g/mg.menit)	R ²
9,709	0,053	0,740

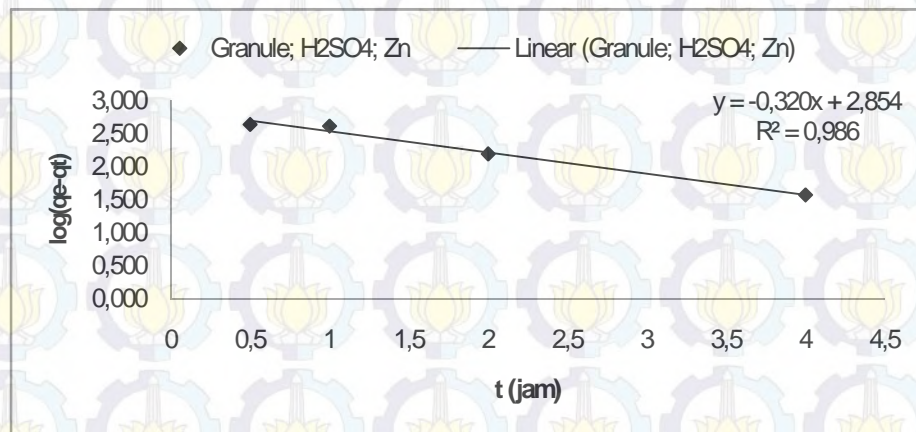
MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE SATU Granule; H2SO4; Zn

t (jam)	Co (mg/l)	Ce setimbang (mg/l)	massa (g)	V(ml)	qe (mg/g)
6,00	82,00	34,94	0,3006	100	15,6554

t (jam)	Co	Ce	V	qt (mg/g)	ln(qe-qt)
0,5	82,00	77,02	100	1,659	2,639
1	82,00	75,95	100	2,015	2,613
2	82,00	61,84	100	6,716	2,191
4	82,00	49,47	100	10,843	1,571
6	82,00	34,94	100	15,655	#NUM!

t (jam)	log(qe-qt)
0,5	2,639
1	2,613
2	2,191
4	1,571

Granule; H2SO4; Zn



$$y = ax + b$$

$$\log (q_e - q_t) = - (k_1/2,303) t + \log q_e$$

$$y = -0,320x + 2,854$$

a	b
-0,32	2,854

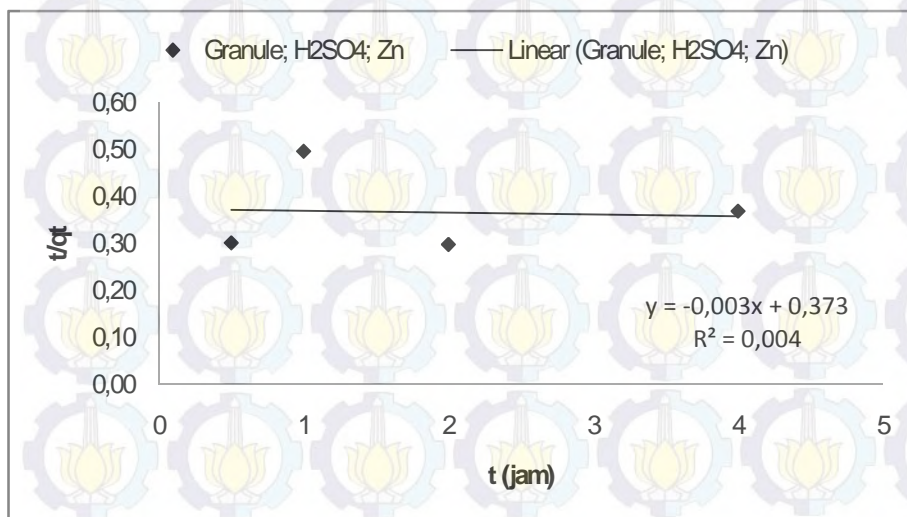
k1 (/menit)	qe	R ²
0,737	714,496	0,986

MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE DUA Granule; H2SO4; Zn

t (jam)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qt (mg/g)	t/qt
0,5	0,3002	82,00	77,02	100	1,6589	0,3014
1	0,3003	82,00	75,95	100	2,0147	0,4964
2	0,3002	82,00	61,84	100	6,7155	0,2978
4	0,3000	82,00	49,47	100	10,8433	0,3689
6	0,3006	82,00	34,94	100	15,6554	0,3833

t (jam)	t/qt
0,5	0,30
1	0,50
2	0,30
4	0,37

Granule; H2SO4;
Zn



$$y = ax + b$$

$$t/qt = 1/qe t + 1/k_2 qe^2$$

$$y = -0,003x + 0,373$$

a	b
0,003	0,373

qe (mg/g)	k2 (g/mg.menit)	R ²
333,3	0,00002	0,004

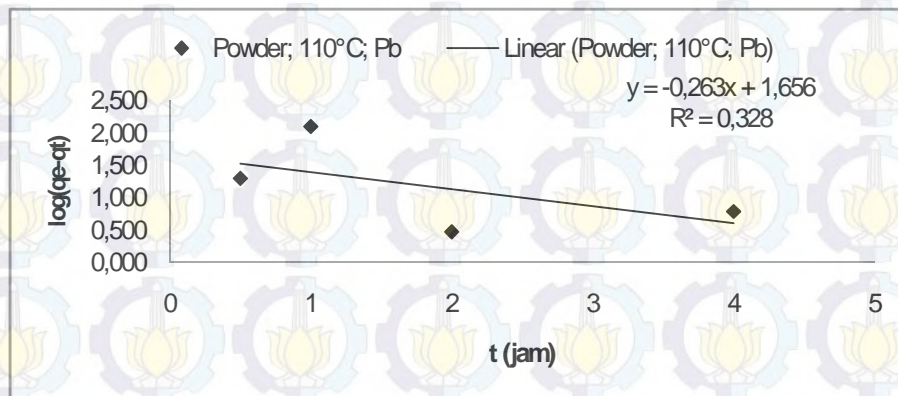
MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE SATU Powder; 110°C; Pb

t (jam)	Co (mg/l)	Ce setimbang (mg/l)	massa (g)	V(ml)	qe (mg/g)
6,00	96,89	8,37	0,3004	100	29,4674

t (jam)	Co	Ce	V	qt (mg/g)	ln(qe-qt)
0,5	96,89	19,38	100	25,813	1,296
1	96,89	32,85	100	21,311	2,099
2	96,89	13,09	100	27,868	0,469
4	96,89	15,01	100	27,277	0,784
6	96,89	8,37	100	29,467	#NUM!

t (menit)	log(qe-qt)
0,5	1,296
1	2,099
2	0,469
4	0,784

Powder; 110°C; Pb



$$y = ax + b$$

$$\log (q_e - q_t) = - (k_1/2,303) t + \log q_e$$

$$y = -0,263x + 1,656$$

a	b
-0,263	1,656

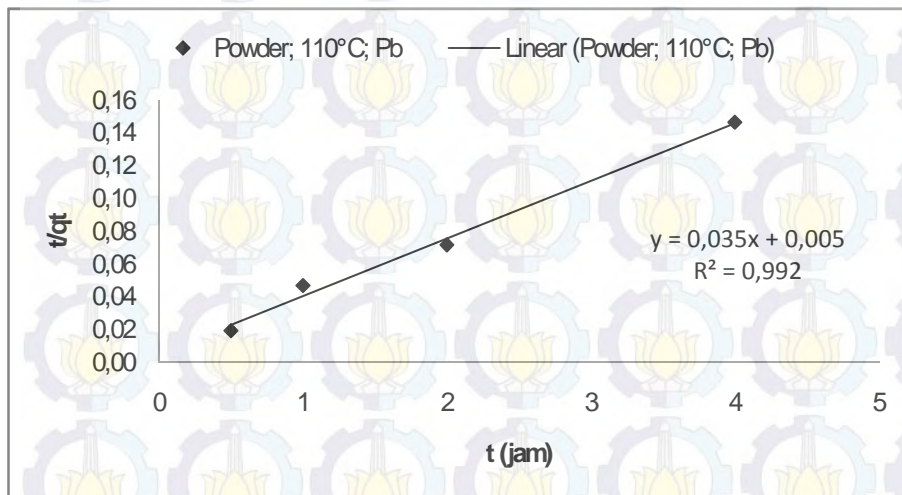
k1 (/menit)	qe	R^2
0,605	45,290	0,328

MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE DUA Powder; 110°C; Pb

t (jam)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qt (mg/g)	t/qt
0,5	0,3003	96,89	19,375	100	25,8125	0,0194
1	0,3005	96,89	32,85	100	21,3111	0,0469
2	0,3007	96,89	13,09	100	27,8683	0,0718
4	0,3002	96,89	15,005	100	27,2768	0,1466
6	0,3004	96,89	8,37	100	29,4674	0,2036

t (jam)	t/qt
0,5	0,02
1	0,05
2	0,07
4	0,15

Powder; 110°C; Pb



$$y = ax + b$$

$$t/qt = 1/q_e t + 1/k_2 q_e^2$$

$$y = 0,035x + 0,005$$

a	b
0,035	0,005

qe (mg/g)	k2 (g/mg.menit)	R^2
28,571	0,245	0,992

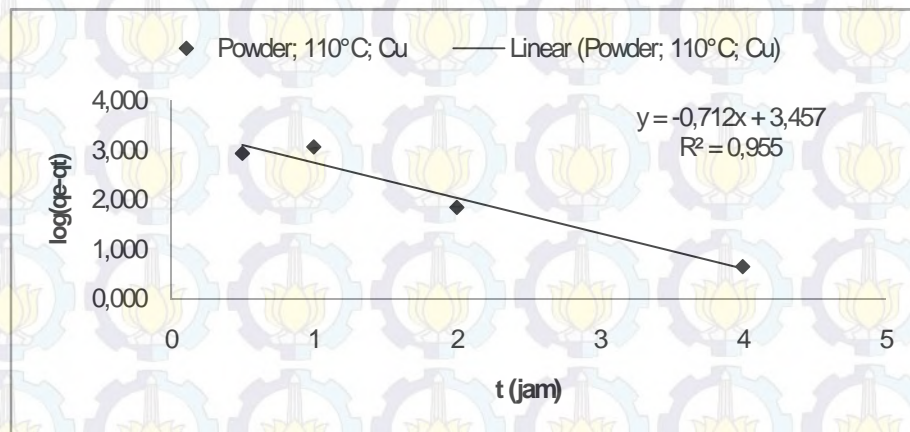
MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE SATU Powder; 110°C; Cu

t (jam)	Co (mg/l)	Ce setimbang (mg/l)	massa (g)	V(ml)	qe (mg/g)
6,00	99,12	11,02	0,3003	100	29,3373

t (jam)	Co	Ce	V	qt (mg/g)	ln(qe-qt)
0,5	99,12	67,48	100	10,547	2,933
1	99,12	75,47	100	7,865	3,067
2	99,12	29,92	100	23,013	1,844
4	99,12	16,82	100	27,433	0,644
6	99,12	11,02	100	29,337	#NUM!

t (jam)	log(qe-qt)
0,5	2,933
1	3,067
2	1,844
4	0,644

Powder; 110°C; Cu



$$y = ax + b$$

$$\log (q_e - q_t) = - (k_1/2,303) t + \log q_e$$

$$y = -0,712x + 3,457$$

a	b
-0,712	3,457

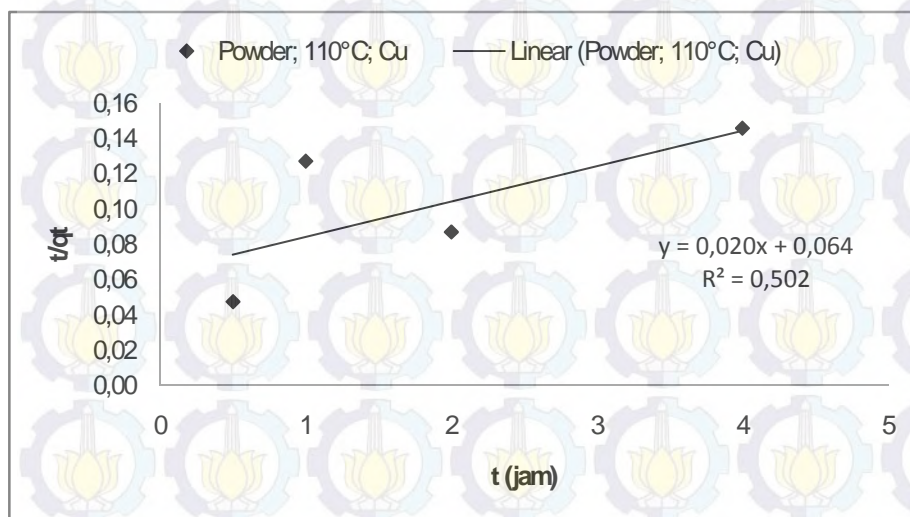
k1 (/menit)	qe	R ²
1,639	2864,178	0,955

MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE DUA Powder; 110°C; Cu

t (jam)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qt (mg/g)	t/qt
0,5	0,3000	99,12	67,48	100	10,5467	0,0474
1	0,3007	99,12	75,47	100	7,8650	0,1271
2	0,3007	99,12	29,92	100	23,0130	0,0869
4	0,3000	99,12	16,82	100	27,4333	0,1458
6	0,3003	99,12	11,02	100	29,3373	0,2045

t (jam)	t/qt
0,5	0,05
1	0,13
2	0,09
4	0,15

Powder; 110°C;
Cu



$$y = ax + b$$

$$t/qt = 1/q_e t + 1/k_2 q_e^2$$

$$y = 0,020x + 0,064$$

a	b
0,02	0,064

qe (mg/g)	k2 (g/mg.menit)	R ²
50,000	0,006	0,502

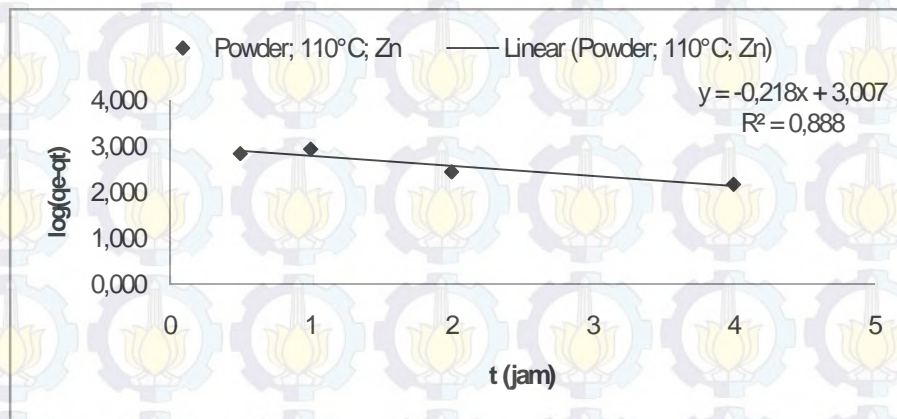
MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE SATU Powder; 110°C; Zn

t (jam)	Co (mg/l)	Ce setimbang (mg/l)	massa (g)	V(ml)	qe (mg/g)
6,00	93,66	17,68	0,3004	100	25,2913

t (jam)	Co	Ce	V	qt (mg/g)	ln(qe-qt)
0,5	93,66	69,23	100	8,138	2,842
1	93,66	74,47	100	6,376	2,940
2	93,66	52,29	100	13,776	2,444
4	93,66	43,92	100	16,558	2,167
6	93,66	17,68	100	25,291	#NUM!

t (jam)	log(qe-qt)
0,5	2,842
1	2,940
2	2,444
4	2,167

Powder; 110°C; Zn



$$y = ax + b$$

$$\log (q_e - q_t) = - (k_1/2,303) t + \log q_e$$

$$y = -0,218x + 3,007$$

a	b
-0,218	3,007

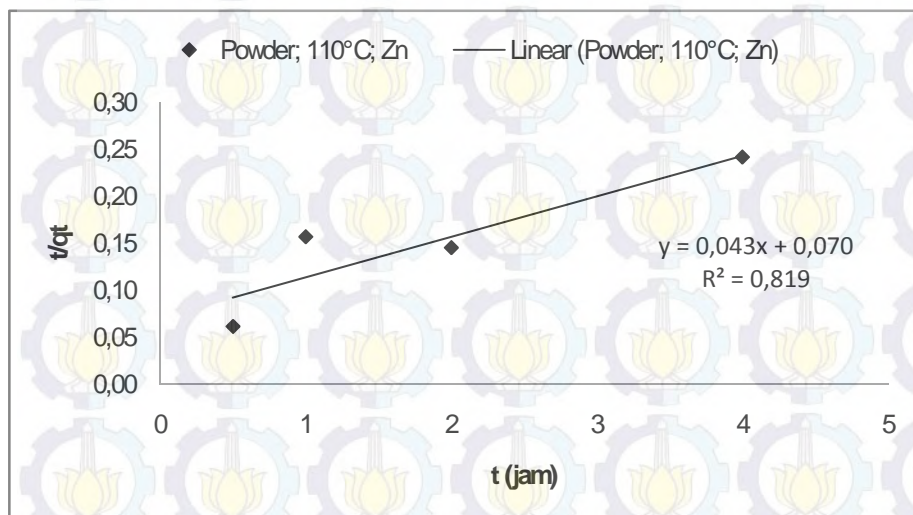
k1 (/menit)	qe	R^2
0,502	1016,249	0,888

MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE DUA Powder; 110°C; Zn

t (jam)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qt (mg/g)	t/qt
0,5	0,3002	93,66	69,225	100	8,1379	0,0614
1	0,3009	93,66	74,47	100	6,3759	0,1568
2	0,3003	93,66	52,285	100	13,7762	0,1452
4	0,3004	93,66	43,915	100	16,5579	0,2416
6	0,3004	93,66	17,68	100	25,2913	0,2372

t (jam)	t/qt
0,5	0,06
1	0,16
2	0,15
4	0,24

Powder; 110°C; Zn



$$y = ax + b$$

$$t/qt = 1/q_e t + 1/k_2 q_e^2$$

$$y = 0,043x + 0,070$$

a	b
0,043	0,07

qe (mg/g)	k2 (g/mg.menit)	R^2
23,256	0,026	0,816

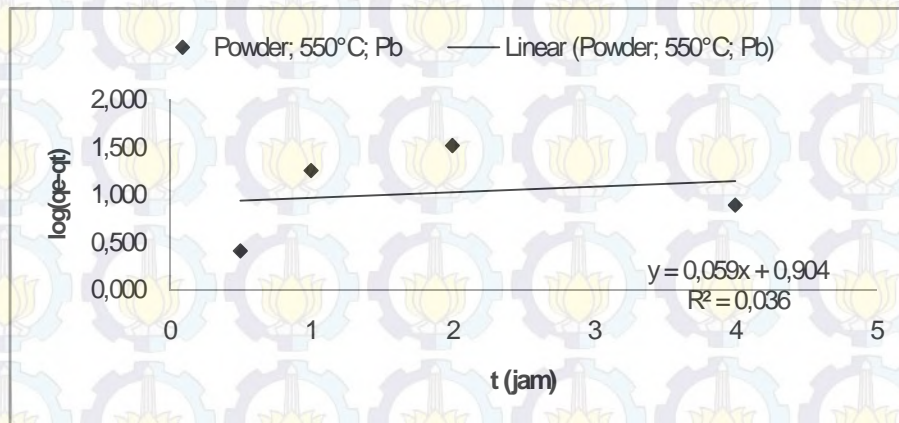
MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE SATU Powder; 550°C; Pb

t (jam)	Co (mg/l)	Ce setimbang (mg/l)	massa (g)	V(ml)	qe (mg/g)
6,00	85,74	4,28	0,3009	100	27,0705

t (jam)	Co	Ce	V	qt (mg/g)	ln(qe-qt)
0,5	85,74	8,80	100	25,568	0,407
1	85,74	15,01	100	23,575	1,251
2	85,74	18,01	100	22,522	1,515
4	85,74	11,83	100	24,637	0,889
6	85,74	4,28	100	27,070	#NUM!

t (jam)	log(qe-qt)
0,5	0,407
1	1,251
2	1,515
4	0,889

Powder; 550°C; Pb



$$y = ax + b$$

$$\log(qe-qt) = - (k_1/2,303) t + \log q_e$$

$$y = 0,059x + 0,904$$

a	b
0,059	0,904

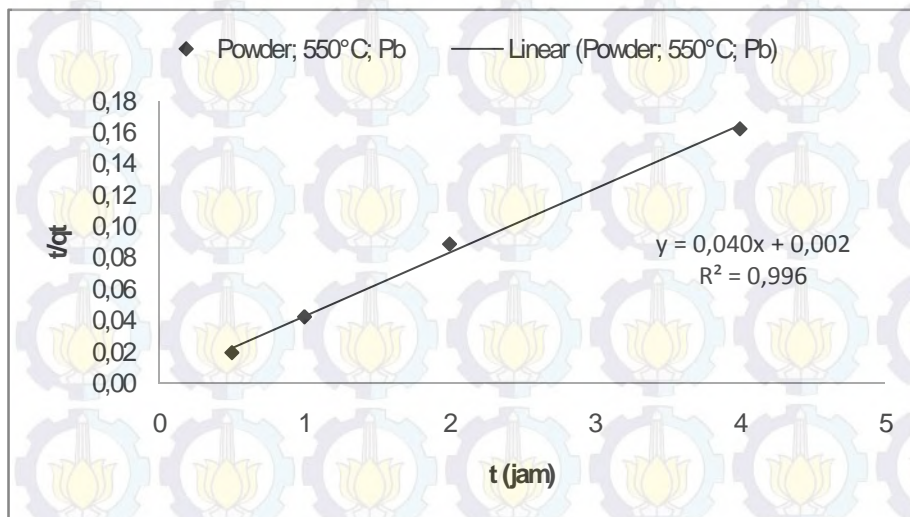
k1 (/menit)	qe	R ²
-0,1358	8,0168	0,0360

MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE DUA Powder; 550°C; Pb

t (jam)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qt (mg/g)	t/qt
0,5	0,3009	85,74	8,801	100	25,5680	0,0196
1	0,3000	85,74	15,01	100	23,5750	0,0424
2	0,3007	85,74	18,01	100	22,5224	0,0888
4	0,3000	85,74	11,825	100	24,6367	0,1624
6	0,3009	85,74	4,28	100	27,0705	0,2216

t (jam)	t/qt
0,5	0,02
1	0,04
2	0,09
4	0,16

Powder; 550°C; Pb



$$y = ax + b$$

$$t/qt = 1/q_e t + 1/k_2 q_e^2$$

$$y = 0,040x + 0,002$$

a	b
0,04	0,002

qe (mg/g)	k2 (g/mg.menit)	R ²
25,0000	0,8000	0,996

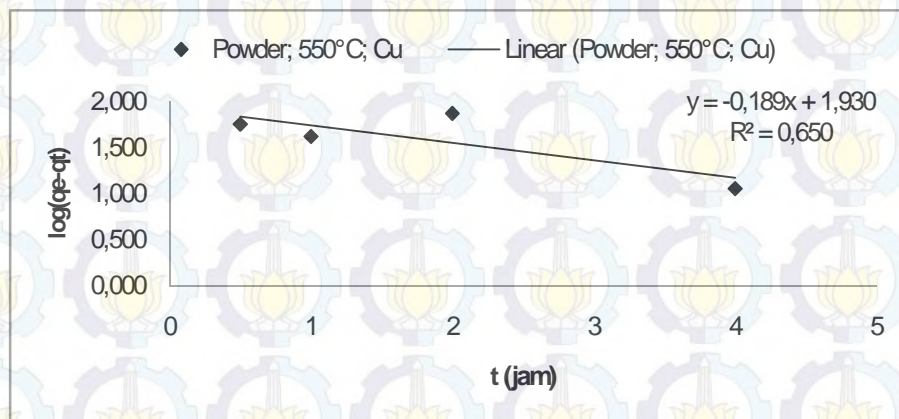
MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE SATU Powder; 550°C; Cu

t (jam)	Co (mg/l)	Ce setimbang (mg/l)	massa (g)	V(ml)	qe (mg/g)
6,00	91,53	14,76	0,3006	100	25,5373

t (jam)	Co	Ce	V	qt (mg/g)	ln(qe-qt)
0,5	91,53	32,20	100	19,755	1,755
1	91,53	29,94	100	20,475	1,622
2	91,53	34,37	100	19,033	1,873
4	91,53	23,49	100	22,672	1,053
6	91,53	14,76	100	25,537	#NUM!

t (menit)	log(qe-qt)
0,5	1,755
1	1,622
2	1,873
4	1,053

Powder; 550°C; Cu



$$y = ax + b$$

$$\log (q_e - q_t) = - (k_1/2,303) t + \log q_e$$

$$y = -0,189x + 1,930$$

a	b
-0,189	1,93

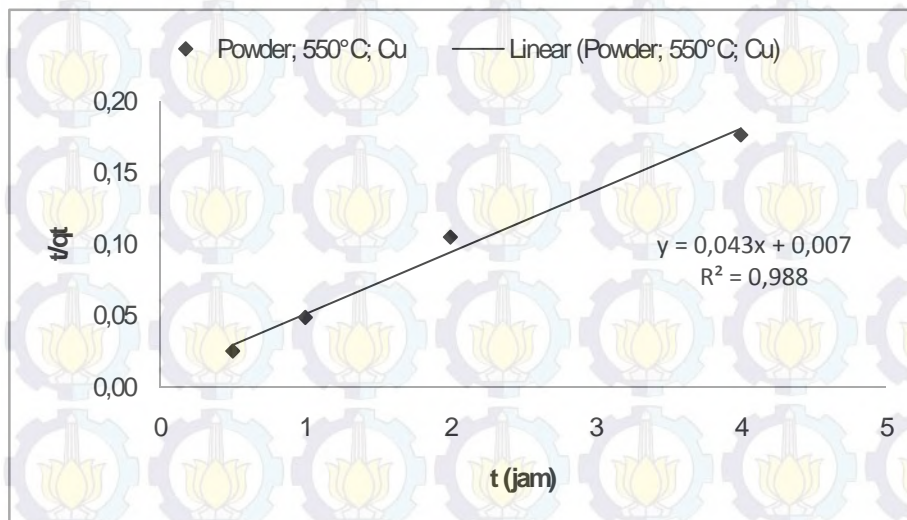
k1 (/menit)	qe	R ²
0,435	85,114	0,650

MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE DUA Powder; 550°C; Cu

t (jam)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qt (mg/g)	t/qt
0,5	0,3003	91,53	32,2	100	19,7552	0,0253
1	0,3008	91,53	29,935	100	20,4754	0,0488
2	0,3003	91,53	34,37	100	19,0326	0,1051
4	0,3001	91,53	23,485	100	22,6724	0,1764
6	0,3006	91,53	14,76	100	25,5373	0,2350

t (jam)	t/qt
0,5	0,03
1	0,05
2	0,11
4	0,18

Powder; 550°C; Cu



$$y = ax + b$$

$$t/qt = 1/qe t + 1/k_2 qe^2$$

$$y = 0,043x + 0,007$$

a	b
0,043	0,007

qe (mg/g)	k2 (g/mg.menit)	R ²
23,256	0,264	0,988

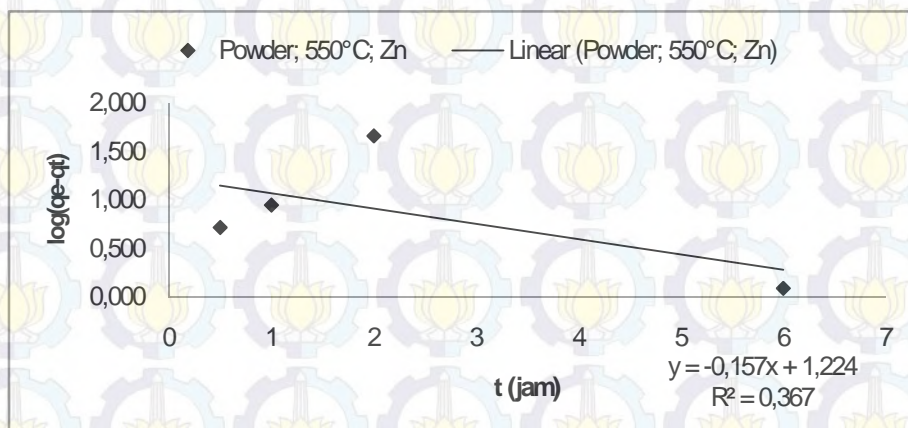
MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE SATU Powder; 550°C; Zn

t (jam)	Co (mg/l)	Ce setimbang (mg/l)	massa (g)	V(ml)	qe (mg/g)
4,00	87,59	18,82	0,3009	100	22,8548

t (jam)	Co	Ce	V	qt (mg/g)	ln(qe-qt)
0,5	87,59	24,97	100	20,813	0,714
1	87,59	26,55	100	20,286	0,944
2	87,59	34,66	100	17,610	1,657
4	87,59	18,82	100	22,923	#NUM!
6	87,59	22,10	100	21,764	0,087

t (menit)	log(qe-qt)
0,5	0,714
1	0,944
2	1,657
6	0,087

Powder; 550°C; Zn



$$y = ax + b$$

$$\log(qe-qt) = - (k/2,303) t + \log qe$$

$$y = -0,157x + 1,224$$

a	b
-0,157	1,224

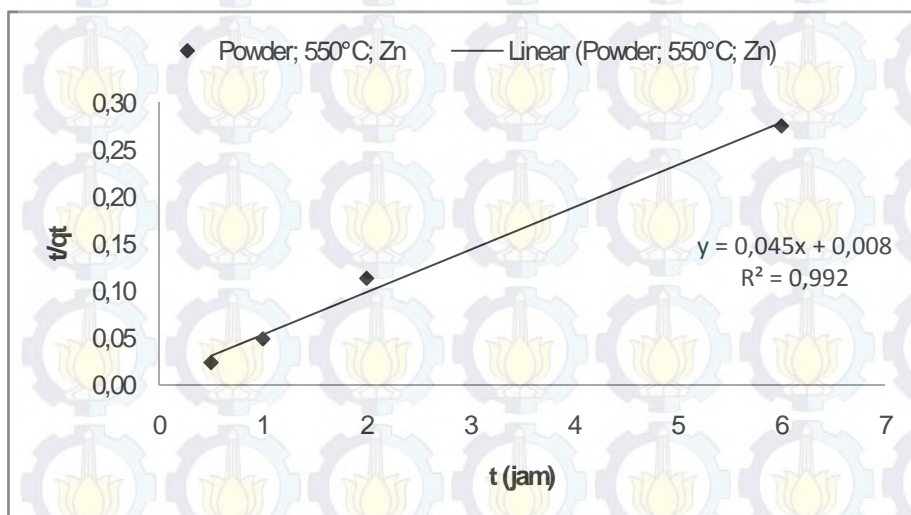
k1 (/menit)	qe	R ²
0,361	16,749	0,367

MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE DUA Powder; 550°C; Zn

t (jam)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qt (mg/g)	t/qt
0,5	0,3009	87,59	24,965	100	20,8126	0,0240
1	0,3009	87,59	26,55	100	20,2858	0,0493
2	0,3006	87,59	34,655	100	17,6098	0,1136
4	0,3000	87,59	18,82	100	22,9233	0,1745
6	0,3009	87,59	22,103	100	21,7637	0,2757

t (jam)	t/qt
0,5	0,02
1	0,05
2	0,11
6	0,28

Powder; 550°C; Zn



$$y = ax + b$$

$$t/qt = 1/q_e t + 1/k_2 q_e^2$$

$$y = 0,045x + 0,008$$

a	b
0,045	0,008

qe (mg/g)	k2 (g/mg.menit)	R ²
22,222	0,253	0,992

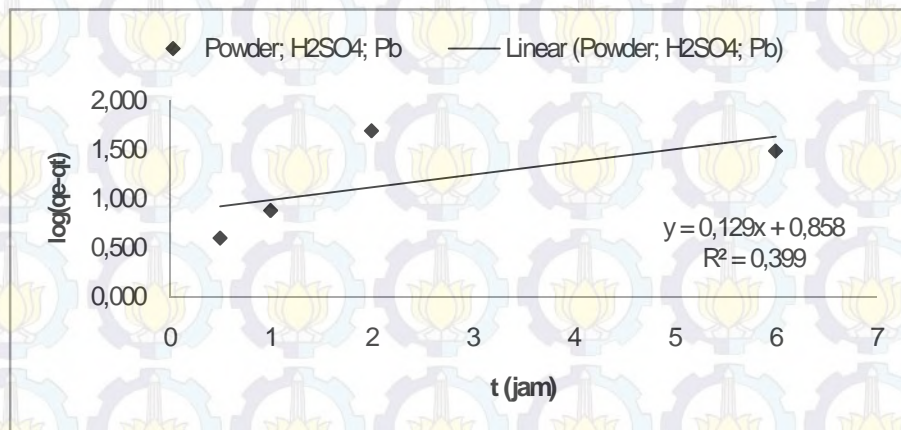
MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE SATU Powder; H2SO4; Pb

t (jam)	Co (mg/l)	Ce setimbang (mg/l)	massa (g)	V(ml)	qe (mg/g)
6,00	96,89	7,69	0,3009	100	29,6461

t (jam)	Co	Ce	V	qt (mg/g)	ln(qe-qt)
0,5	96,89	13,42	100	27,823	0,600
1	96,89	15,01	100	27,230	0,882
2	96,89	24,29	100	24,200	1,695
4	96,89	7,69	100	29,646	#NUM!
6	96,89	21,01	100	25,218	1,488

t (menit)	log(qe-qt)
0,5	0,600
1	0,882
2	1,695
6	1,488

Powder; H2SO4; Pb



$$y = ax + b$$

$$\log(qe-qt) = - (k_1/2,303) t + \log q_e$$

$$y = 0,129x + 0,858$$

a	b
0,129	0,858

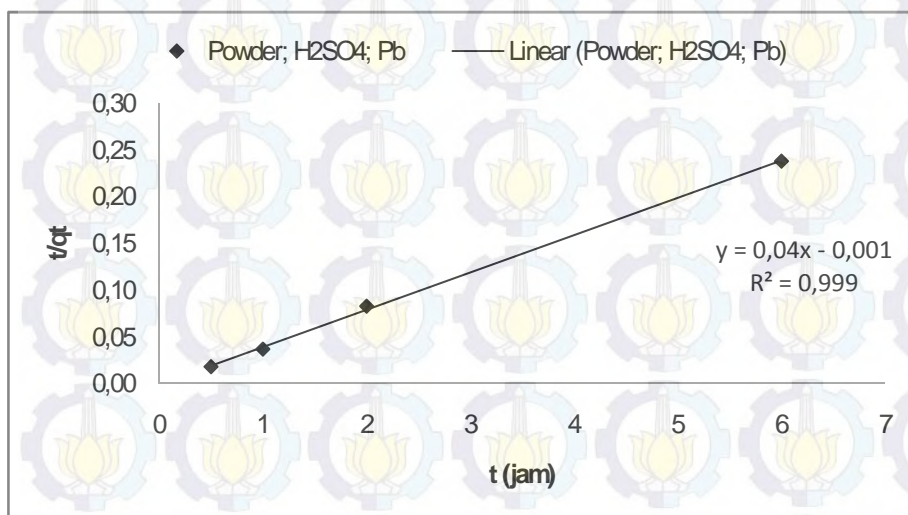
k1 (/menit)	qe	R^2
-0,2970	7,2111	0,3990

MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE DUA Powder; H₂SO₄; Pb

t (jam)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qt (mg/g)	t/qt
0,5	0,3000	96,89	13,42	100	27,8233	0,0180
1	0,3007	96,89	15,01	100	27,2298	0,0367
2	0,3000	96,89	24,29	100	24,2000	0,0826
4	0,3009	96,89	7,685	100	29,6461	0,1349
6	0,3009	96,89	21,01	100	25,2177	0,2379

t (jam)	t/qt
0,5	0,02
1	0,04
2	0,08
6	0,24

Powder; H₂SO₄; Pb



$$y = ax + b$$

$$t/qt = 1/q_e t + 1/k_2 q_e^2$$

$$y = 0,04x - 0,001$$

a	b
0,04	-0,001

qe (mg/g)	k2 (g/mg.menit)	R ²
25,0000	-1,6000	0,999

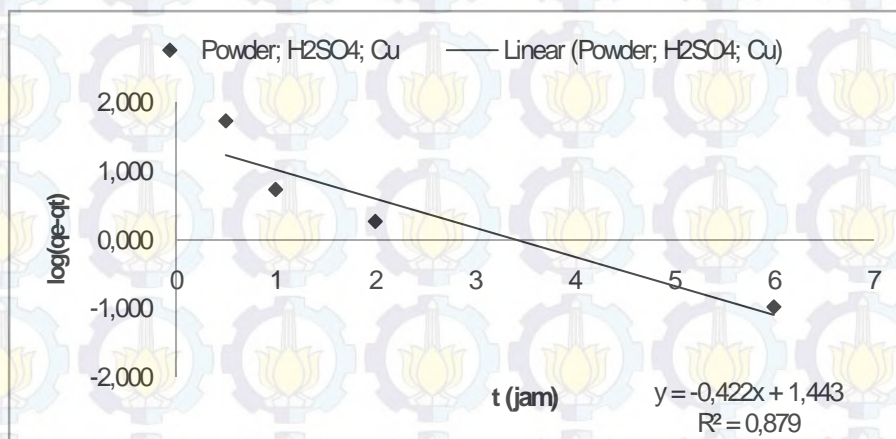
MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE SATU Powder; H2SO4; Cu

t (jam)	Co (mg/l)	Ce setimbang (mg/l)	massa (g)	V(ml)	qe (mg/g)
6,00	99,12	16,89	0,3001	100	27,4025

t (jam)	Co	Ce	V	qt (mg/g)	ln(qe-qt)
0,5	99,12	33,87	100	21,744	1,733
1	99,12	23,01	100	25,321	0,733
2	99,12	20,71	100	26,095	0,268
4	99,12	16,89	100	27,403	#NUM!
6	99,12	17,80	100	27,026	-0,976

t (menit)	log(qe-qt)
0,5	1,733
1	0,733
2	0,268
6	-0,976

Powder; H2SO4; Cu



$$y = ax + b$$

$$\log(qe-qt) = - (k_1/2,303) t + \log qe$$

$$y = -0,422x + 1,443$$

a	b
-0,422	1,443

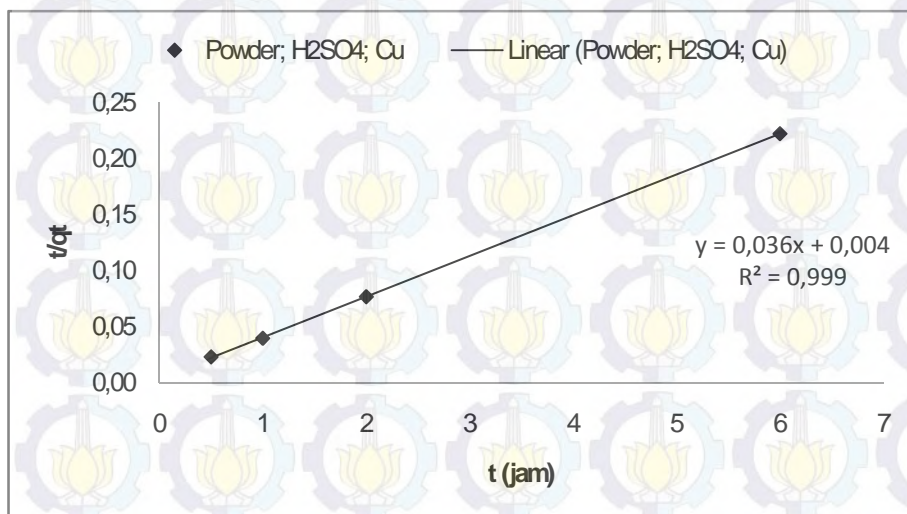
k1 (/menit)	qe	R^2
0,971	27,733	0,879

MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE DUA Powder; H₂SO₄; Cu

t (jam)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qt (mg/g)	t/qt
0,5	0,3001	99,12	33,865	100	21,7444	0,0230
1	0,3006	99,12	23,005	100	25,3210	0,0395
2	0,3005	99,12	20,705	100	26,0948	0,0766
4	0,3001	99,12	16,885	100	27,4025	0,1460
6	0,3009	99,12	17,8	100	27,0256	0,2220

t (jam)	t/qt
0,5	0,02
1	0,04
2	0,08
6	0,22

Powder; H₂SO₄;
Cu



$$y = ax + b$$

$$t/qt = 1/q_e t + 1/k_2 q_e^2$$

$$y = 0,036x + 0,004$$

a	b
0,036	0,004

qe (mg/g)	k2 (g/mg.menit)	R ²
27,778	0,324	0,999

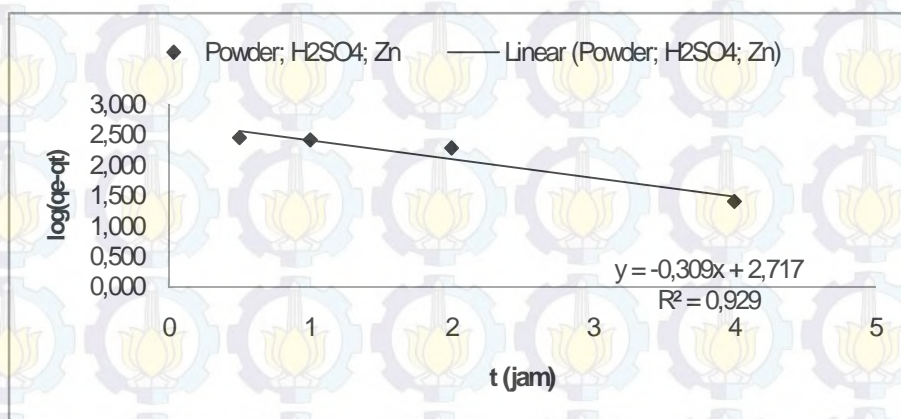
MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE SATU Powder; H₂SO₄; Zn

t (jam)	Co (mg/l)	Ce setimbang (mg/l)	massa (g)	V(ml)	qe (mg/g)
6,00	93,66	15,59	0,3000	100	26,0233

t (jam)	Co	Ce	V	qt (mg/g)	ln(qe-qt)
0,5	93,66	50,36	100	14,414	2,452
1	93,66	49,06	100	14,821	2,416
2	93,66	44,86	100	16,218	2,283
4	93,66	27,62	100	21,962	1,401
6	93,66	15,59	100	26,023	#NUM!

t (jam)	log(qe-qt)
0,5	2,452
1	2,416
2	2,283
4	1,401

Powder; H₂SO₄; Zn



$$y = ax + b$$

$$\log (q_e - q_t) = - (k_1/2,303) t + \log q_e$$

$$y = -0,309x + 2,717$$

a	b
-0,309	2,717

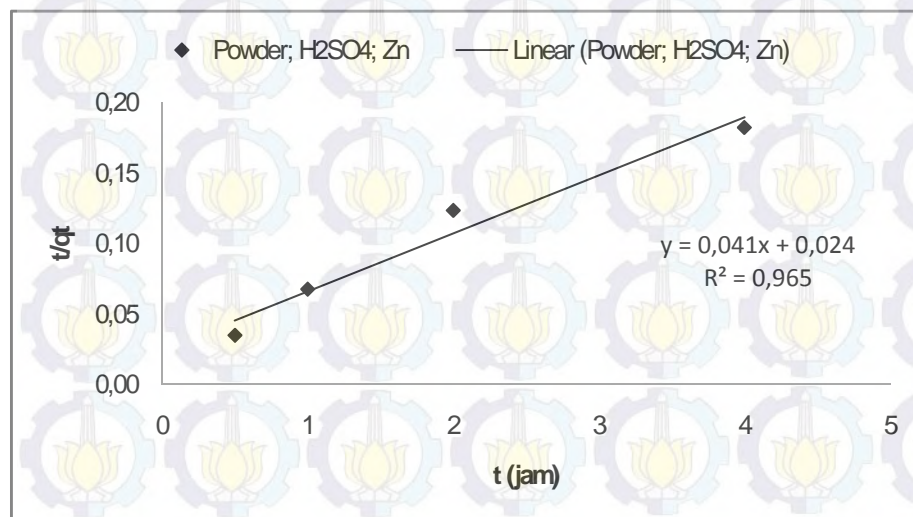
k ₁ (/menit)	q _e	R ²
0,711	521,195	0,929

MODEL KINETIKA ADSORPSI ORDE DUA Powder; H₂SO₄; Zn

t (jam)	massa (g)	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	V (ml)	qt (mg/g)	t/qt
0,5	0,3004	93,66	50,355	100	14,4141	0,0347
1	0,3009	93,66	49,06	100	14,8205	0,0675
2	0,3009	93,66	44,855	100	16,2180	0,1233
4	0,3007	93,66	27,615	100	21,9621	0,1821
6	0,3000	93,66	15,585	100	26,0233	0,2306

t (jam)	t/qt
0,5	0,03
1	0,07
2	0,12
4	0,18

Powder; H₂SO₄; Zn



$$y = ax + b$$

$$t/qt = 1/q_e t + 1/k_2 q_e^2$$

$$y = 0,115x + 0,113$$

a	b
0,041	0,024

qe (mg/g)	k2 (g/mg.menit)	R ²
24,390	0,070	0,965

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Nganjuk, 03 Februari 1991 dan merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis besar di Surabaya dengan menempuh pendidikan di SDN Pakis 8 Surabaya kemudian melanjutkan pendidikan di SMPN 1 Surabaya. Pada tahun 2006 penulis melanjutkan pendidikan di SMAN 5 Surabaya dan lulus pada tahun 2009 dimana pada tahun tersebut penulis melanjutkan pendidikan S1 ke Jurusan Ilmu dan Teknologi Lingkungan Universitas Airlangga di Surabaya. Penulis pada saat menempuh program sarjana cukup aktif dalam kegiatan kemahasiswaan dan pernah menjadi Ketua Himpunan Mahasiswa Departemen Biologi Universitas Airlangga. Penulis pada tahun 2014 melanjutkan pendidikan program Magister Jurusan Teknik Lingkungan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.